Postverlagsort Würzburg 2

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON

ERICH v. HOLST

HERAUSGEGEBEN VON

ERNST LAMLA

BEIRAT:

J. BARTELS · E. BEDERKE · H. BROCKMANN · P. TEN BRUGGENCATE · C. W. CORRENS · H. v. FICKER
R. GRAMMEL · O. HAHN · R. HARDER · M. HARTMANN · W. HEISENBERG · K. HENKE · A. KUHN
M. v. LAUE · H. MARTIUS · R. W. POHL · H. REIN

ORGAN DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN
ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

37. JAHRGANG — HEFT 19 (ERSTES OKTOBERHEFT) — 1950

INHALT:

Seite

AUFSÄTZE.

Neuere Auffassungen über einige Probleme aus der Pathologie der Kernteilung. II. Teil. Von HANS MARQUARDT 433
Die Klimaphasen der Würmeiszeit. Von JULIUS BÜDEL . . . 438

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN.

Über das Auftreten des Tunneleffektes bei Ad- und Desorption der Wasserstoffisotope. Von P. HARTECK und G. A. MELKONIAN 450
Die Zuverlässigkeit des antibiotischen Testes mit Diffusionsplatten. Von K. H. WALLHÄUSSER und A. RIPPEL-BALDES 450
Über die Wirkgruppe der Phosphatase. Von W. KUTSCHER und H. SIEG 451
Über die relative Labilität heterozyklischer Fünfringe. Von W. AWE und E. NAUJOKS 452
Über die Differenzierung der bei Vorgängen am Aktomyosin beteiligten Sulfhydrylgruppen. Von F. TURBA, G. KUSCHINSKY und H. THOMANN 453
Über die Erhöhung der Kälteresistenz der Pflanzen bei Stickstoffmangel. Von F. GESSNER und F. ZWERENZ 453
Über die Kolloid-Elution durch Serumprotein, BENCE-JONES-Protein und Galle. Von CH. WUNDERLY 454
Zur Abhängigkeit der pathophysiologischen Reaktionsfähigkeit der Gewebe von hormonalen Einflüssen. Von EMIL TONUTTI 455
Die Filterfähigkeit der Tiernase im Staubinhalationsversuch. Von E. SCHILLER und G. WORTH 455

BESPRECHUNGEN.

W. KLEBER, Angewandte Gitterphysik. (Ref.: R. FRICKE) . 456
F. KUCKUCK und A. MUDRA, Lehrbuch der Allgemeinen Pflanzenzüchtung. (Ref.: R. HÜBNER) 456

Entwicklungsgeschichte des Menschen

Ein Grundriß

Von

Kurt Goerttler

o. Professor der Anatomie an der Universität Freiburg

Mit 189 zum Teil farbigen Abbildungen. X, 291 Seiten. 1950

DMark 21.—; Ganzleinen DMark 24.—

Inhaltsübersicht:

Erster Hauptteil: Die Phylogenese der Wirbeltiere und ihre descendenztheoretischen Voraussetzungen. — I. Der Entwicklungsbegriff in der Biologie. 1. Die Bedeutung des Entwicklungsbegriffs. 2. Die Form des Entwicklungsbegriffs. 3. Die Geschichte des Entwicklungsbegriffs (ein kurzer Abriß der Geschichte der „Descendenzlehre" seit dem 17. Jahrhundert bis Darwin). — **II. Die stammesgeschichtliche (phylogenetische) Entwicklung der Tiere: „Descendenzlehre".** 1. Die Beweise der Descendenzlehre. 2. Das Problem der Stammbaumforschung. 3. Die Ursachen der stammesgeschichtlichen Entwicklung. — **Zweiter Hauptteil: Die Ontogenese der Wirbeltiere und die Gesetze ihrer Formbildung. — I. Die biologischen Voraussetzungen der Einzelentwicklung.** 1. Das Befruchtungsgeschehen und die mit ihm zusammenhängenden Vorgänge innerhalb der Geschlechtszellen. 2. Die Grundtatsachen der Vererbungslehre. 3. Das Sexualitätsproblem. — **II. Die Entwicklung des Amphibieneies.** 1. Die Bedeutung des Amphibieneies für eine allgemeine Theorie der Entwicklung. 2. Die Furchung. 3. Die Gastrulation. 4. Die Besonderheiten der Primitiventwicklung beim Frosch gegenüber dem Molch. 5. Die Entwicklung des Blutkreislaufes. — **III. Die Entwicklung des Vogeleies.** 1. Die Bedeutung des Vogeleies als Modell für die Entwicklung der höheren Wirbeltiere. 2. Die Entwicklung des Dreiblätterkeims. 3. Die Vergleichbarkeit der Formbildungsvorgänge innerhalb der Hühnerkeimscheibe mit der Gastrulation bei den Amphibien, auf Grund eines allen Wirbeltieren gemeinsamen „Anlageplanes". 4. Die Determinationsvorgänge im Vogelei. 5. Die Abfaltung des Embryo von der Keimscheibe und die Bildung der Embryonalanhänge. 6. Die Entwicklung des Blutgefäßsystems und des Herzens, sowie eine Übersicht der äußeren Formbildung des Embryo bis zu diesem Stadium. 7. Das Schicksal der drei Keimblätter. — **IV. Die Entwicklung der Säugetiere und des Menschen.** 1. Allgemeine Übersicht der Primitiventwicklung (Furchung und Keimblattbildung) bei den Säugetieren. 2. Die Entwicklung menschlicher Keime und ihrer Embryonalanhänge. 3. Die Bildung der Placenta und die Implantation des menschlichen Eies. 4. Das Wachstum menschlicher Keime. (Die Entwicklung ihrer äußeren Körperform und der inneren Organisation.) 5. Die Umstellung des weiblichen Organismus während der Schwangerschaft. 6. Die Geburt des ausgetragenen Kindes. 7. Nachgeburt, Mehrlingsbildung und Schwangerschaftsdauer. Literatur. Namen- und Sachverzeichnis.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen zweimal monatlich. Bestellungen nimmt jede Buchhandlung, in den Westzonen auch jedes Postamt entgegen. Preis vierteljährlich 12.— DMark, für das einzelne Heft 2.50 DMark, zuzüglich Postgebühren.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachige Ausgaben vor.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden von der Anzeigenabteilung des Verlages (Berlin W 35, Reichpietschufer 20 [Britischer Sektor], Tel. 91 03 46) angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Vertriebs-Vertretungen des Verlages im Ausland:

Schweiz . . . . . Lange, Maxwell & Springer A.G., Schützenmattstr. 43, Basel

Frankreich . . . . . Lange, Maxwell & Springer S.A., 24, Rue des Ecoles, Paris (V°)

England, USA. und übriges Ausland Lange, Maxwell & Springer Ltd., 41—45 Neal Street, London, W.C.2

Springer-Verlag

Berlin · Göttingen · Heidelberg

Redaktionelle Hinweise.

I. Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichung zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind, und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik „KOM" („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platz- und Papiermangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne KOM nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Autoren, namentlich solche, welchen die Gepflogenheiten bei Veröffentlichungen in den „Naturwissenschaften" noch nicht bekannt sind, werden gebeten, in die ausführlichere Darstellung der allgemeinen redaktionellen Richtlinien Einblick zu nehmen, welche in Heft 1 des 33. Jahrgangs abgedruckt sind. Ergänzend sei hier bemerkt, daß die Rubrik „Tagesnotizen" in Zukunft nicht fortgeführt wird, daß also Einsendungen für diese zwecklos sind.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zuschriften sind zu richten an:
Redaktion der Naturwissenschaften,
(20b) Göttingen, Theaterplatz 10.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Photographische Abbildungen (Autotypien) können gebracht werden, soweit sachlich erforderlich. In vielen Fällen läßt sich jedoch das Wesentliche durch eine (leichter reproduzierbare) Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren erhalten in jedem Fall eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung (mit einem Vermerk, ob der Beitrag druckfertig oder eine Revision erforderlich ist) erbeten wird.

Besprechungsexemplare.

Es wird gebeten, von der unverlangten Zusendung von Büchern, besonders kleineren Broschüren und Zeitschriften-Heften, abzusehen und zunächst eine Anfrage an die Redaktion zu richten, die dann von sich aus Exemplare anfordern wird. — Für die Rückgabe unverlangter Sendungen kann keine Gewähr übernommen werden.

Philosophie

Von

Karl Jaspers

Zweite, unveränderte Auflage. XIX, 913 Seiten. 1948

Halbleinen DMark 36.—

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

37. Jahrgang Heft 19 (Erstes Oktoberheft) 1950

Neuere Auffassungen über einige Probleme aus der Pathologie der Kernteilung*).

Von HANS MARQUARDT.

(Fortsetzung und Schluß.)

6. Die Erweiterung der bisherigen Auffassung durch neuere Experimente.

a) Kombinationsexperimente.

Charakteristisch für die bisherige Auffassung der ersten Phase der Bruchentstehung war die Annahme, daß aus der lokalen Energieabsorption nur eine einzige Endstufe sich entwickeln könne, der potentielle Bruch. Zwischenstufen sind dabei bisher nicht gefaßt worden. Weitere Versuche mit Kombinationen mehrerer experimenteller Einwirkungen zwingen nunmehr zu einer wesentlichen Erweiterung der bisherigen Anschauungen. SWANSON und HOLLAENDER [49] haben auf Tradescantia-Pollenzellen *vor* einer Röntgenbestrahlung Infrarotstrahlen einwirken lassen in einer Intensität, die allein keine Brüche auslösen kann. Gleichgültig ob Infrarot unmittelbar vor der Röntgenbestrahlung oder bis 21 Std früher verabreicht wurde, stets war der Prozentsatz *aller* erfaßten Chromosomenmutationen — der Chromatid-, der Isochromatidfragmentationen und der Rekombinationen — wesentlich erhöht.

Die Infrarotvorbehandlung wirkt somit sensibilisierend auf die Chromosomen, d. h., es entstehen mindestens 21 Std persistierende „prospektive" Bruchstellen auf ihnen, welche durch die Röntgenbestrahlung als zusätzliche potentielle Brüche manifest werden. Daraus ergibt sich aber zwangsläufig, daß Bruchauslösung durch ein Agens nicht unbedingt eine Alles- oder Nichtsreaktion sein muß und somit entweder zu potentiellen Brüchen oder zu keinem Effekt führt. Wir müssen vielmehr Zwischenstufen zwischen der molekularen oder atomaren Energieabsorption einerseits und dem potentiellen Bruch fordern in Form von „unterschwelligen potentiellen Brüchen", welche allein nicht in Erscheinung treten, sondern eines weiteren Anstoßes — etwa durch ein zweites bruchauslösendes Agens — bedürfen, um zu echten potentiellen Brüchen zu werden.

Darüber hinaus muß aber auch die bei allen Agenzien einheitlich angenommene Natur des potentiellen Bruches in Zweifel gezogen werden: Bestrahlt man Tradescantia-Pollenschlauchkerne mit Röntgenstrahlen, so erhält man außer Chromatidfragmentationen auch Isochromatidbrüche und Rekombinationen (SWANSON [51]). Bestrahlt man dagegen dasselbe Objekt mit Ultraviolettstrahlen, dann findet man neben einem Chromatidfragmentationsprozentsatz, bei dem nach Röntgenbehandlung die beiden anderen aberranten Konfigurationen vorhanden sind, weder Isochromatidbrüche noch Rekombinationen. Es muß daher geschlossen werden, daß die Rekombinationsbereitschaft ultraviolettausgelöster potentieller Brüche wesentlich geringer ist als diejenige der Röntgenbrüche.

Dieselbe Schlußfolgerung ergibt ein Vergleich der α- und Röntgenstrahlenwirkung. Während nach Röntgenbestrahlung unter den vorhandenen Rekombinationen nur wenige Partialrekombinationen (Rekombinationen mit freien Bruchflächen) vorhanden sind, ist ihr Prozentsatz bei α-Bestrahlung um das 3 bis 4fache höher (vgl. LEA [38]).

Ähnlich wie bei der Kombination von Temperatur und Bestrahlung kann zwar der Unterschied der UV- und Röntgenwirkung noch durch eine Verschiebung der Rekombinations- und Restitutionsrate interpretiert werden, nicht aber die Differenz zwischen α- und Röntgenstrahlen. Über die bisherigen Annahmen hinausgehend ergibt sich daraus, daß die durch verschiedene Agenzien bewirkten potentiellen Brüche verschiedener Natur sein müssen, indem die α-Strahlen-ausgelösten eine geringere Fähigkeit zur nahtlosen Vereinigung innerhalb einer Rekombination besitzen als die röntgeninduzierten potentiellen Brüche. Der potentielle Bruch ist hier somit nicht mehr einheitlicher Natur und sein Verhalten in der zweiten Phase nicht mehr nur von Zahl, Lage und mechanischen Spannungsverhältnissen im Chromosom abhängig.

Zu einer Erweiterung der bisherigen Auffassung führen neuere Kombinationsversuche, die erst in kurzen Zusammenfassungen publiziert sind. RILEY und GILES [52] bestrahlten Pollenmitosen von Tradescantia in O_2-, N_2-, Edelgasatmosphäre und im Vakuum. Gegenüber dem Ergebnis in normaler Atmosphäre ergab das Vorhandensein von O_2 eine wesentliche Steigerung, die übrigen untersuchten Bedingungen dagegen eine deutliche Senkung des Prozentsatzes der Rekombinationen: Bestrahlung im Vakuum und sofortige Einleitung von O_2 nach ihrem Ende bleibt wirkungslos; daraus muß geschlossen werden, daß wohl nicht die zweite Phase der Rekombination und Restitution gegenüber O_2 empfindlich ist, sondern die erste Phase betroffen wurde. Ist dies aber der Fall, dann ist die Zahl ausgelöster potentieller Brüche nicht allein von den bisher dafür verantwortlich gemachten physikalischen Faktoren, sondern auch von chemischen Faktoren abhängig, und zwar hier von der O_2-Spannung und von den damit in Zusammenhang stehenden physiologischen Zustandsgrößen der Zelle. Dieselben Ergebnisse erhielten an Drosophila mit der ClB-Methode BAKER und SGOURAKIS [53].

Bei dieser Sachlage ist es nicht verwunderlich, daß auch Ergebnisse bei Kombinationsversuchen erhalten wurden, welche heute noch nicht befriedigend zu deuten sind. SWANSON [51] kombinierte UV- und Röntgenstrahlen so miteinander, daß zuerst eine bruchauslösende Dosis UV und nach 1 Std Zwischenpause Röntgenstrahlen verabreicht wurden. An Stelle einer erwarteten Summierung, wie sie auf Grund des ähnlichen Infrarotverhaltens hätte eintreten

*) Herrn Professor Dr. F. OEHLKERS zum 60. Geburtstag.

müssen, wurde das Gegenteil gefunden: Außer bei den Isochromatidfragmentationen, welche nur von den Röntgenstrahlen ausgelöst werden und der Röntgenkontrolle entsprechen, liegt die Häufigkeit der Chromatidfragmentationen und vor allem der Rekombinationen so niedrig, daß die Röntgenbestrahlung auf ihre Zahl fast ohne Auswirkung geblieben sein muß. Ist die UV-Dosis stark genug, wirkt sich sogar eine Steigerung der Röntgendosis von 247 auf 371 r praktisch überhaupt nicht aus! Der starke Rückgang der Rekombinationen findet sich nur, wenn auf die UV-Verabreichung sofort die Röntgenbestrahlung folgt; liegt $^1/_2$ bis 1 Std Pause dazwischen, steigt die Zahl der Rekombinationen wieder an.

Wir stehen hier somit vor dem Widerspruch, daß eine *nicht* bruchauslösende Infrarotdosis unterschwellige potentielle Brüche auslöst, welche durch die nachfolgende Röntgenbestrahlung manifest werden, während das bruchauslösende UV die Wirkung der Röntgenstrahlen fast annulliert. Um überhaupt zu einer Interpretation zu kommen, nahm SWANSON vorläufig an, daß durch das UV die Matrix der Chromosomen, etwa durch Gelifizierung, so verändert wird, daß nur Restitutionen, aber keine Rekombinationen und auch keine Erhaltung der potentiellen Brüche als Fragmentationen möglich sind. Unter dem Aspekt der O_2-Versuche scheint auch hier für das Zustandekommen und das Verhalten der potentiellen Brüche die Wirkung der verschiedenen Strahlenarten auf den Zustand der Zelle und der Chromosomen eine wesentlichere Rolle zu spielen als die bisher berücksichtigten rein physikalischen Faktoren.

Allen diesen neu gewonnenen Einsichten in die Entstehung der Chromosomenbrüche ist gemeinsam, daß durch sie der bisher so einfach erscheinende Begriff des potentiellen Bruches als Grundlage der biophysikalischen Interpretation des Bruchgeschehens von neuem problematisch wurde. Er ist *unscharf* geworden, denn wir kennen jetzt außer den „fertigen" potentiellen Brüchen noch die unterschwelligen als seine Vorstufen. Er ist *nicht mehr einheitlicher Natur*, denn sein Verhalten ist abhängig von dem Agens, das ihn auslöste. Schließlich ist seine Häufigkeit nicht nur von physikalischen Faktoren, sondern auch *von dem physiologischen Zustand der Zelle* und der Chromosomen abhängig.

Dieser Gesichtspunkt ist gerade bei den neueren Ergebnissen so stark in den Vordergrund getreten, daß die Interpretation durch einfache Änderungen der Zahl und der Größe trefferempfindlicher Bereiche, d. h. durch Änderungen lediglich in atomaren oder molekularen Dimensionen wohl nicht mehr ausreicht.

7. Experimente mit bruchauslösenden Chemikalien.

Es bedeutete eine wesentliche Erweiterung der Methodik experimenteller Zell- und Mutationsforschung, als von OEHLKERS [54] und AUERBACH [55], [56] Äthylurethan bzw. Senfgas und seine Derivate als Chromosomenbrüche bzw. Mutationen auslösende Agenzien gefunden wurden. Im einzelnen auf ihre zytologische Wirkung genau geprüft sind außer den genannten Urethanen (Zusammenfassung in OEHLKERS [57], ferner OEHLKERS und MARQUARDT [37]) und dem Senfgas und seinen Derivaten (DARLINGTON und KOLLER [58], FORD [59], NOVIK und SPARROW [60], LOVELESS und REVELL [18]) noch Putrescin (MARQUARDT [61] und unveröffentlicht) Samenextrakt verschieden alter Oenotherasamen (MARQUARDT [61] und unveröffentlicht) und Zephirol (MARQUARDT unveröffentlicht). Für alle diese Substanzen ergab sich, daß die Typen ausgelöster Chromosomenmutationen denjenigen nach Röntgenbestrahlung weitgehend entsprachen. Auch die Lokalisation der Brüche innerhalb des Genoms von Oenothera (OEHLKERS und LINNERT [63]) und auf den Chromosomen der Meiosis von Paeonia tenuifolia durch Urethan und Samenextrakt (MARQUARDT [62] und unveröffentlicht) und auf den Chromosomen von Drosophila bei Anwendung des ClB-Testes (VOGT [64], [65]) ist dieselbe wie bei Röntgenstrahlen. Nur für Stickstofflost wurde durch FORD [59] und LOVELESS und REVELL [18] in der Wurzelspitzenmitose von Vicia faba eine andersartige Bruchverteilung gefunden doch sind diese Befunde noch nicht ausführlich veröffentlicht und stehen im Gegensatz zu Speicheldrüsenergebnissen an Drosophila (KAUFMANN, GAY und ROTHBERG [66]). Der Vergleich strahlen- und chemikalieninduzierter Chromosomenmutationen ergibt somit eine sehr weitgehende Übereinstimmung zwischen ihren Wirkungen auf die Chromosomen.

Charakteristisch für alle bruchauslösenden Chemikalien ist aber die Tatsache, daß sie nicht nur auf die Chromosomen wirken, sondern ebenso in das physiologische Getriebe der Zelle entscheidend eingreifen. So konnte festgestellt werden, daß sie bereits in vitro mit allen wesentlichen Zellbestandteilen, den Purinen, Nucleinsäuren, Aminosäuren, Peptiden und Proteinen reagieren (vgl. die Literaturzusammenstellung in KAUFMANN, GAY und ROTHBERG [66]). Ihrer Reaktionsbereitschaft mit den Sulfhydrylgruppen der Proteine scheint dabei biochemisch eine besondere Bedeutung zuzukommen (vgl. BACQ [67]). Ferner blockieren sie die Tätigkeit der Enzyme und stören auf diese Weise vor allem den fermentativ so komplex gesteuerten Atmungsvorgang und den für den Formwechsel des Zellkerns so wesentlichen Nucleinsäurestoffwechsel (Zusammenfassung in Nucleic acid [26], über die zellphysiologische Wirkung der Urethane vgl. HEILMEYER [68], des Senfgases und seiner Derivate vgl. LOVELESS und REVELL [18], KAUFMANN, GAY und ROTHBERG [66], des Zephirols vgl. KUHN und BIELIG [69], BECK und MEIER [70]).

Wir finden aber auch nach einer Einwirkung von kurzwelligen Strahlen, vor allem von Röntgenstrahlen eine Störung des Nucleinsäurestoffwechsels, die derjenigen der mutagenen Substanzen ähnlich zu sein scheint (Nucleic acid [26], MARSHAK [25], v. HEVESY [24]), und darüber hinaus dürften auch die anderen Zellfunktionen bei ausreichender Dosis alteriert werden. Überraschenderweise hat dieser Gesichtspunkt einer Aktion der Strahlen nicht nur auf die Chromosomen des Ruhekerns selbst, sondern auch auf die anderen Zellbestandteile keine Berücksichtigung erfahren. Die biophysikalische Interpretation der Chromosomenaberrationen bezieht alle in der ersten Mitose oder später faßbaren Änderungen in der Struktur der Chromosomen auf lokale Absorptionsvorgänge eingestrahlter Energie auf dem Chromonemaverband. Einer derartigen Auffassung stand bisher nichts im Wege, da weder eine Chromosomenbruchauslösung von Chemikalien noch die in den letzten Jahren als wirksam

gefundenen Substanzen im Zellstoffwechsel hätte erwartet werden können. Beide Voraussetzungen einer Nichtberücksichtigung der außerchromosomalen Vorgänge nach Einwirkung eines bruchauslösenden Agens sind aber heute nicht mehr zutreffend. Der im Extrakt von Samen verschiedenen Alters vorhandene Stoff oder die Stoffgruppe, welche chromosomenbruchauslösende Wirkung hat, muß im Normalstoffwechsel des Samens gebildet worden sein. Ebenso ist das Putrescin, ein Abbauprodukt des Ornithins, nicht nur bei bakteriell hervorgerufener Eiweißfäulnis, sondern auch im Alkaloidstoffwechsel der Atropawurzel (CROMWELL [71]) und im Mutterkorn (vgl. PAECH [72]) nachgewiesen.

Weiterhin sind zahlreiche Alkaloide und Colchicin (OEHLKERS [57]), ferner Cumarin und Parasorbinsäure (CORNMAN [73], OESTERGREN [74]) sowie Coffein und Adenin (KIHLMAN und LEVAN [75], KIHLMAN [76],[77]) als biogene Substanzen chromosomenmutationsauslösend, doch wurden eingehendere Arbeiten darüber noch nicht veröffentlicht.

Auf Grund dieser experimentellen Erfahrungen mit Stoffen, welche im normalen Ablauf vor allem des pflanzlichen Stoffwechsels gebildet werden und welche die Eigenschaft der Bruchauslösung besitzen, ist es somit nicht mehr möglich, von vornherein nur eine *direkte* Reaktion des Agens mit dem Chromosom in Betracht zu ziehen; es muß vielmehr auch an eine *indirekte* Reaktion gedacht werden, indem durch Störung des Stoffwechselgetriebes der Zelle erst eine Substanz gebildet wird, welche die Bruchauslösung bewirkt. Die stets zwischen Behandlung des Ruhekerns und der ersten Mitose verstreichende Zeit läßt in den meisten Fällen ausreichenden Spielraum für derartige Sekundärreaktionen, bei welchen auch das Plasmon eine Rolle spielen kann: So fand OEHLKERS [78] bei einem Oenothera-Bastard im Plasma des einen Elters fast doppelt soviel Chromosomenmutationen in der Meiosis wie im Plasma des anderen Elters.

Bei UV-Bestrahlungen hat sich bereits diese Möglichkeit indirekter Bruchentstehung experimentell wahrscheinlich machen lassen: Werden in Parallele zu Bakterienversuchen (WYSS, STONE und HAAS [79], WYSS, CLARK, HAAS und STONE [80]) Conidien von Neurospora crassa mit UV bestrahlt und danach die Zahl der alanindefekten Mutanten bestimmt, erhält man eine wesentliche Erhöhung der spontanen Mutationsrate (WAGNER, HADDOX, FUERST und STONE [81], [82]). Wird ohne Neurospora-Conidien das Nährmedium bestrahlt und sofort danach unbehandelte Conidien eingebracht, erhält man ebenfalls Mutationen, jedoch nicht so viele wie bei direkter UV-Bestrahlung der Conidien. Da bei UV-Bestrahlung eines derartigen Mediums katalytisch H_2O_2 gebildet wird, das vermutlich sofort in organische Peroxydbindung übergeht, wurde in einer zweiten Versuchsserie einfaches H_2O_2 und organische Peroxyde auf eventuelle mutagene Wirkung am selben Objekt geprüft (DICKEY, CLELAND und LOTZ [83]). Gegenüber der Mutationshäufigkeit einer direkten UV-Bestrahlung mit 6000 erg/mm²/min von $46{,}0 \cdot 10^{-7}$ ergab 0,15 Mol/l des Peroxyds vom Di-Isopropyläther eine Rate von $23{,}0 \cdot 10^{-7}$, während 0,21 Mol/l H_2O_2 nur $1{,}8 \cdot 10^{-7}$ Mutationen auslösten. Hier ist somit der experimentelle Nachweis geführt, daß zur Auslösung der Hälfte der Alaninlessmutanten gar nicht eine Bestrahlung der Conidien notwendig ist, sondern eine solche des Nährmediums mit folgender Peroxydbildung genügt. Die Annahme liegt nahe, daß eine ähnliche Freisetzung von mutagenen Peroxyden wie im Nährmedium auch in dem bestrahlten Protoplasten möglich ist und eine ebensolche Fernwirkung etwa im Zytoplasma gebildeter Peroxyde auf die Chromosomenloci eintritt.

Während diese Untersuchungen nicht direkt an den Chromosomen mit der direkten Methode, sondern mit der genetischen Methode durch Bestimmung einer herausgegriffenen Einzelmutation gemacht wurden, sind auch an den Chromosomen selbst ähnliche Befunde erhoben worden. Pollenkörner von Tradescantia im ungequollenen Zustand vertragen unter entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen Abkühlung bis auf die Temperatur flüssiger Luft (FABERGÉ [84]). Röntgenbestrahlung bei Temperaturen zwischen +20° und —192° C ergeben, getestet durch Auszählung sichtbarer Chromosomenbrüche in der Pollenschlauchteilung eine Kurve der Bruchzahl, die ungefähr bei 0° eine scharfe Senkung erfährt, um bei weiterem Temperaturrückgang langsamer zu fallen, bis bei —192° C die Zahl der Brüche nur noch $^1/_5$ des Wertes von 25° beträgt (FABERGÉ [85]). Charakteristischerweise entspricht der Kurvenverlauf demjenigen der H_2O_2-Menge, die bei entsprechenden Temperaturen unter der Wirkung der Röntgenstrahlen aus O_2-haltigem Wasser freigesetzt wird (MAURY und LE FORT [86]). Ein Unterschied beider Kurven liegt allerdings darin, daß ab —116° C keinerlei H_2O_2 mehr gebildet wird, während Chromosomenbrüche bis —192° C ausgelöst werden. Es kann nach diesen Ergebnissen, die freilich noch eines weiteren Ausbaus bedürfen, kaum mehr ein Zweifel daran bestehen, daß tatsächlich eine indirekte Bruchauslösung durch Bildung mutagener Substanzen im gestörten Stoffwechsel der behandelten Zellen in Betracht gezogen werden muß, wenn auch nur für einen Teil der aktuell zur Beobachtung kommenden Brüche.

8. Versuch einer Neuinterpretation des Chromosomenbruchgeschehens.

Wir haben in den vorhergehenden Abschnitten gesehen, daß sowohl die Kombinations- wie die Chemikalienexperimente zu einer Erweiterung der bisherigen Interpretation des Bruchgeschehens zwingen, welche bisher rein formal durch biophysikalische Überlegungen erfolgte. Nicht einheitliche Natur der potentiellen Brüche, deren Zahl wegen der Restitutionen nicht exakt zu bestimmen ist, ihre Abhängigkeit vom physiologischen Zustand der Zelle und die Möglichkeit einer indirekten Bruchauslösung durch Bildung bruchwirksamer Stoffwechselprodukte sind dabei entscheidende Momente gewesen.

Bei dieser Erweiterung hat die Berücksichtigung nicht nur des strahleninduzierten, sondern auch des chemikalieninduzierten Bruchgeschehens eine wesentliche Rolle gespielt. Es ist dabei ein naheliegender Gedanke, abgesehen von den durch experimentelle Einwirkung ausgelösten Brüchen auch die im normalen Formwechsel auftretenden Erscheinungen dieser Art für eine Interpretation heranzuziehen.

Nach neuesten Arbeiten von McCLINTOCK, über die DEMEREC [87] vorläufig berichtet, scheinen im Formwechsel des somatischen Kerns spontan ganz

ähnliche Prozesse möglich zu sein, wie bei der Chiasmabildung in der Meiosis: Ein für die spontane Mutationshäufigkeit wesentlicher Chromosomenlocus *Ac* beim Mais besteht aus mehreren Untereinheiten, die in verschiedenen Zellen in wechselnder Zahl vorhanden sind. Damit es aber innerhalb einer begrenzten Chromosomenstrecke zu Verschiedenheiten in der Anzahl derartiger Untereinheiten kommen kann, muß es nach crossing-over Erfahrungen an Drosophila auch in der Mitose Austauschvorgänge zwischen den eng benachbart liegenden Schwesterchromatiden geben, die jedoch nicht genau zwischen identischen Unterabteilungen erfolgen. Was also als „Chiasma" in der

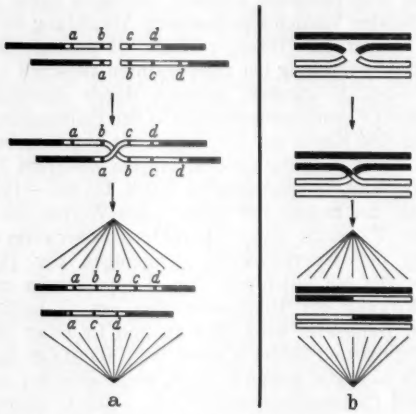


Fig. 10a u. b. Spontane „Rekombinations"vorgänge im Schema: a Zwischen Schwesterchromatiden somatischer Chromosomen (als unequal somatic crossover gezeichnet); b zwischen Chromatiden homologer Chromosomen in der Meiosis (Chiasmabildung). Buchstaben: Unterteilungen eines Chromosomenlocus, der zur Verdeutlichung stark in die Länge gezogen gedacht ist.

Prophase der Meiosis geschieht — eine Lösung des originalen Längszusammenhaltes im Chromatid und eine nahtlose Neuvereinigung mit dem ebenso gelösten homologen Chromatid zu der bekannten Überkreuzungsfigur — wird hier beim Mais in dem mitotischen Formwechsel für Schwesterchromatiden angenommen. Gehen wir beispielsweise von einem Chromosomenlocus mit den Unterabteilungen a, b, c, d aus (Fig. 10a), dann kann in einem Schwesterchromatid etwa zwischen b und c, im anderen an der infolge etwas verschiedener Spiralisierung gegenüberliegenden Strecke zwischen a und b eine Lösung des Längszusammenhangs eintreten und es zur typischen Überkreuzungsfigur kommen. Dadurch entstehen Tochterchromosomen mit den Unterabteilungen a, b, b, c, d bzw. nur a, c, d.

Was hier von McClintock für die Schwesterchromatiden angenommen wird und vermutlich im Ruhekern oder beim Übergang zur frühen Prophase geschieht, ereignet sich in gleicher Weise zwischen den Chromatiden homologer Chromosomen in der Prophase der Meiosis (Fig. 10b); es ist die bekannte Chiasmabildung, der zytologische Grundvorgang des genetischen crossing-over.

Schließlich werden spontan eintretende Fragmentationen und Rekombinationen in großer Häufigkeit beobachtet, wenn infolge veränderter Chromosomenzahl bei haploiden Pflanzen (vgl. Sears [88] und Ernst [89]) oder infolge einer Bastardierung (Emsweller und Jones [90], Hakansson [91]) die Balance in der Kernkonstitution gestört ist.

Allen diesen, untereinander im einzelnen so verschieden erscheinenden *spontanen* Geschehnissen an den Chromosomen sind aber zwei Charakteristika gemeinsam:

1. In diesen besonderen Zuständen besteht eine Tendenz der Chromosomen, an bestimmten Stellen des Chromonemaverbandes den Längszusammenhang zu unterbrechen.

2. Nachdem eine derartige Unterbrechung gesetzt ist, wird der Längszusammenhang in irgendeiner Weise wiederhergestellt. Geschieht dies durch Neuherstellung der Ausgangssituation, ist in den Folgephasen an den Chromosomen nichts feststellbar — es handelt sich somit um eine Restitution. Geschieht dies aber durch Zusammenfügung ursprünglich nicht zusammengehöriger Chromonemaverbände, haben wir das „unequal crossing over" zwischen den Schwesterchromatiden der Mais-Chromosomen, das „Chiasma" in der Meiosis oder die spontane Rekombination bei Balancestörungen im Genom.

Unsere Neuinterpretation des experimentell induzierten Bruchrekombinationsgeschehens besteht nun einfach darin, die bisher für *spontane* Phänomene beschriebenen Vorgänge als Grundlage auch auf die experimentell induzierten Chromosomenmutationen zu übertragen:

Im Ruhekern vor Mitosis oder Meiosis sind die Chromosomen durch Entspiralisierung und Auseinanderrücken der Chromonemaverbände stark aufgelockert und DNS-arm. Dies gilt für das Euchromatin über die ganze Dauer des Ruhekerns, während das in diesem Stadium kondensierte und DNS-beladene Heterochromatin erst beim Übergang in die Prophase eine kurze Auflockerung erfährt (Zerstäubungsstadium in der Mitose nach Heitz [92]), Dekondensationsstadium in der Meiosis nach Marquardt [93]. Die Kontinuität der Chromosomengestalt und damit die Konstanz in der Aufeinanderfolge der Chromosomenloci wird während der Auflockerung gewährleistet durch das Vorhandensein eines Skelettes von Proteinfadenmolekeln. Die entscheidende Annahme für unseren Versuch einer Interpretation besteht nun darin, daß die Bindungen zwischen den Polypeptiden dieser Ketten nicht über die ganze Länge gleich fest sind, sondern das Proteinskelett in zahlreiche Untereinheiten gegliedert ist, zwischen denen prospektive Lockerstellen vorliegen. Hierunter verstehen wir einen Zustand, bei dem an der Nahtstelle zweier Untereinheiten die vorhandene schwächere Bindung bei geringfügigem Anlaß in ihrer Festigkeit beeinträchtigt werden kann oder von vornherein über eine gewisse Zeitdauer aufgehoben ist. Wir nehmen somit für den Aufbau des Proteinskeletts der Chromosomen eine ähnliche Periodizität an wie für die native Zellulose, bei welcher nach je 500 Glukoseresten eine andersartige Bindung vorhanden ist. Sie ist viel leichter lösbar als die anderen und wird ebenfalls als „Lockerstelle" bezeichnet (Schulz und Husemann [94]).

Die Besonderheit ruhekernwirksamer Agenzien besteht nun darin, daß sie im Ruhekern, mindestens aber in der Phase der Auflockerung die an sich schon instabilen Bindungen der prospektiven Lockerstellen

zwischen den Untereinheiten des Proteinskeletts noch mehr beeinträchtigen, so daß sie in eine echte Lockerstelle überführt werden. Ein derartiger Effekt könnte durch folgende Vorgänge zustande kommen:

1. Es reagieren die besonders leicht angreifbaren Endgruppen der Untereinheiten chemisch mit dem einwirkenden Agens oder mit einer durch sein Vorhandensein gebildeten Substanz der Zelle unter Aufhebung der Bindung über die Nahtstelle zwischen den Untereinheiten hinweg: Dies kann eventuell durch „CROSS-LINKING", d. h. durch Substanzen geschehen, welche zwischen den isoliert nebeneinander verlaufenden Protein-Fadenmolekeln Bindungsbrükken herstellen, wodurch der originale Längszusammenhang unterbrochen wird (ELMORE, D. T. [95], GOLDACRE, R. J., LOVELESS, A. und ROSS, W. C. J. [96], LOVELESS, A. und REVELL [18], MCELROY, W. D. und DE LA HABA, G. [97] nach Senfgaseinwirkung).

2. Eine Veränderung der Enzymaktivität in der Umgebung der Chromosomen wirkt auf den Bindungszustand an den Lockerstellen zurück. Dies kann durch Beeinträchtigung eines direkt am Formwechselgeschehen der Chromosomen beteiligten Enzyms geschehen, es sind aber auch indirekte Möglichkeiten denkbar (vgl. 4.).

3. Im Falle kurzwelliger oder korpuskularer Strahlung bewirkt die an oder in unmittelbarer Nähe der Lockerstelle absorbierte Energie eine Alteration der Bindung. Ein derartiger Vorgang wäre biophysikalischer Betrachtungsweise zugänglich, sofern mit der notwendigen Exaktheit die Zahl betroffener Lockerstellen festgestellt werden könnte.

4. Eine eventuell mit der zweiten Möglichkeit zusammenhängende Störung des Nucleinsäure- und des eng damit gekoppelten Proteinstoffwechsels von Zellkern und Chromosomen beeinträchtigt den Bindungszustand an den Lockerstellen. Unsere oben erwähnten Beobachtungen der lokalen Achromasien mit ihrer bleibenden Bruchempfindlichkeit bis in die Anaphase hinein scheinen zu zeigen, daß gerade die DNS-Anlagerung eine entscheidende Verfestigung des Längszusammenhangs im Chromosom und eine „Maskierung" der Lockerstellen bewirkt.

Die genannten Möglichkeiten erscheinen auf Grund unserer heutigen experimentellen Ergebnisse alle gleich wahrscheinlich, so daß wohl sicher keiner von ihnen eine ausschließliche Monopolstellung bei Bindungsbeeinträchtigung bzw. -lösung eingeräumt werden kann. Trifft dies aber zu, dann ist von vornherein anzunehmen, daß der jeweils hergestellte Zustand an den Lockerstellen nicht einheitlich sein wird, es ist vielmehr eine Verschiedenheit der Art und des Grades der Bindungsbeeinträchtigung und darüber hinaus auch des chemischen Zustandes der Endgruppen an der Lockerstelle anzunehmen.

Die im normalen Formwechsel vorhandene Verfestigung im Längszusammenhalt des Proteinskelettes durch die einsetzende Mitose und auch die der Zelle eigene Regenerationsfähigkeit nach Störungen ändert in einer zweiten Phase den Zustand erneut. Die nur gering alterierten Lockerstellen werden in der Lage sein, den normalen Ausgangszustand wiederherzustellen und damit eine Restitution durchzuführen. Ist dagegen eine Lösung der Bindung erfolgt, besteht die Möglichkeit, bei engem Kontakt mit einer zweiten Lockerstelle eine neue Bindung zwischen nicht zusammengehörigen Unterabteilungen, d. h. eine Rekombination zu bilden. Bei Lösung der Bindung und gleichzeitiger chemischer Veränderung der Endgruppen bis zur völligen Unfähigkeit der Herstellung einer neuen Bindung erhält sich die Lockerstelle als Fragmentation bis in die erste Kernteilung nach ihrer Auslösung.

Prinzipiell dasselbe Ablaufschema ist unter normalen Bedingungen für die Chiasmabildung in der Prophase der Meiosis gültig. Zwischen Pachytän und Diplotän schiebt sich ein diffuses Stadium ein, in welchem sich parallel mit Wachstumsprozessen meiotischer Zellen eingreifende Veränderungen am Nucleinsäurestoffwechsel vollziehen (DODSON [98] an Wirbeltieroozyten). Durch die DNS-Verarmung in diesem Stadium ist praktisch bei allen untersuchten Objekten eine starke Fixierungslabilität der Chromosomen bis zu ihrem fast völligen Unsichtbarwerden vor allem bei Eizellen festzustellen. In diesem besonderen Zustand ist aber eine Überführung der prospektiven Lockerstellen in echte Lockerstellen wieder möglich und durch engen Kontakt zwischen homologen Chromosomen erfolgt der Chromatidaustauschvorgang — das Chiasma — in der für die Rekombinationen geschilderten Weise. Von MCCLINTOCK geforderte Austausche zwischen somatischen Schwesterchromatiden dürften wohl im Ruhekern oder im Übergang zur früheren Prophase vor sich gehen.

Die spontanen Austauschvorgänge zwischen Schwesterchromatiden oder homologen Chromosomen unterscheiden sich somit von dem experimentell induzierten Bruchrekombinationsgeschehen durch die Tatsache, daß normale physiologische Bedingungen einen *geregelten* Ablauf in der Formierung von Lockerstellen und in ihrer Neuverfestigung bewirken; es treten daher hier nur Restitutionen und gerichtete Rekombinationen auf. Ruhekernwirksame Agenzien dagegen bewirken unvorhergesehene Störungen am Formwechselgeschehen der Chromosomen, die als solche nicht streng gesetzmäßig wie beim Chiasmavorgang ablaufen, so daß die Folgeerscheinungen dieser Eingriffe mannigfaltiger sind und ausgesprochen pathologischen Charakter tragen.

Die hier entwickelte Vorstellung von der Entstehung der Chromosomenmutationen unterscheidet sich in wesentlichen Punkten von der biophysikalisch unterbauten Interpretation. Sie hat mit ihr zwar gemeinsam die Aufteilung des Geschehens in zwei Phasen, welche aber hier durch die Parallele mit spontanen Austauschvorgängen ihr Vorbild in einem normalen Formwechselprozeß der Chromosomen erhalten. Der Begriff des potentiellen Bruches und seiner einheitlichen Natur ist ersetzt durch den Begriff der Lockerstelle, die als Bindung zwischen Untereinheiten des Proteinskeletts im Normalzustand bereits vorgebildet ist, die unter spontanen oder experimentellen Bedingungen ihre Eigenart voll ausprägt und in diesem aktivierten Zustand längere Zeit verbleiben kann. Der jeweils gesetzte Grad der Veränderung an den Lockerstellen im Chromosom bestimmt ihr Verhalten in der zweiten Phase, d. h. entscheidet über ihre Manifestation als sichtbare Rekombination, Fragmentation oder unsichtbare Restitution in der ersten Kernteilung nach der Behandlung.

Den entscheidenden Vorzug der hier entwickelten Interpretation sehen wir dabei in der Tatsache, daß

das Bruchgeschehen aufs engste mit dem Stoffwechselgetriebe der Zelle und dem jeweiligen physiologischen Zustand verknüpft ist. Auf diese Weise scheint uns der vom Biologen stets als fragwürdig empfundene Ausgangspunkt der biophysikalischen Deutung umgangen zu sein, bei welchem das Chromosom als völlig selbständiges Gebilde ohne Berücksichtigung der übrigen Zelle, bestehend aus molekularen, formalen Treffbereichen betrachtet wird, und bei dem alles Zellgeschehen nur durch seine Rückprojektion in hypothetische Zahl-, Größen- und Energieleitungsveränderungen derartiger molekularer Bereiche berücksichtigt werden kann.

Literatur.

[1] TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, N. W., u. ZIMMER: Biophysik, Bd. 1. Leipzig 1947. — [2] KAPLAN, R. W.: Ärztl. Forschg. 4, 105 (1950). — [3] DEMEREC, M.: Proc. nat. Acad. Sci. U.S.A. 27 (1941). — [4] SUTTON, E.: Genetics 28, 210 (1943). — [5] LEWIS: Genetics 33, 112 (1948). — [6] SUTTON, E.: Genetics 28, 97 (1943). — [7]—[11] MOELLENDORFF: Arch. exper. Zellforschg. 21, 1 (1937). — Z. Zellforschg. 27, 301 (1937); 28, 512 (1938); 32, 35 (1941); 32, 445 (1943). — [12], [13] LETTRÉ: Naturwiss. 33, 75 (1946). — Z. Krebsforschg. 56, 5 (1948). — [14] LEHMANN: Experientia 3, 223 (1947). — [15] HOHL, K.: Experimentelle Untersuchungen über Röntgeneffekte und chemische Effekte auf die pflanzliche Mitose. Stuttgart 1949. — [16] MARQUARDT, H.: Ärztl. Forschg. 2, 407 (1948). — [17] HEILMEYER, L.: Naturwiss. 37, 58 (1950). — [18] LOVELESS, A., and REVELL: Nature (Lond.) 164, 938 (1949). — [19] CARLSON, J. G.: Cold Spring Harbor Sympos. quantitat. Biol. 9, 104 (1941). — [20], [21] BRAUER, J.: Planta 36, 411 (1949); 38, 91 (1950). — [22] FINK, H.: Chromosoma 5, 510 (1949). — [23] MITCHELL, J. S.: Brit. J. exper. Path. 23, 285 (1942). — [24] HEVESY, v.: Nature (Lond.) 163, 869 (1949). — [25] MARSHAK, A.: J. cellul. a. comp. Physiol. 32, 381 (1948). — [26] DARLINGTON: In Nucleic acid. Symp. exp. Biol. l. Cambridge 1947. — [27], [28] MARQUARDT, H.: Z. Bot. 36, 273 (1941). — Experientia 5, 31 (1949). — [29] CATCHESIDE: Brit. J. Radiol. Suppl. 1, 66 (1948). — [30] NEBEL: Amer. J. Bot. 24, 365 (1937). — [31] KUWADA, Y.: Cytologia 10, 213 (1939). — [32] MARQUARDT, H.: Planta 31, 670 (1941). — [33] HUSKINS, C. L.: Amer. Naturalist 81, 401 (1947). — [34] DARLINGTON, C. D., and J. UPCOTT: Genetics 41, 297 (1941). — [35] SPARROW, A. H., and CHRISTENSEN: Genetics 35, 135 (1950). — [36] SPARROW, A. H., and R. C. SPARROW: Genetics 35, 135 (1950). — [37] OEHLKERS, F., u. MARQUARDT: Z. Vererbgsl. 83 (1950). — [38] LEA, D. E.: Actions of radiations on living cells. Cambridge 1946. — [39] MARQUARDT, H.: Flora (Jena) 35, 239 (1941). — [40] MARQUARDT, H.: Z. Bot. 37, 241 (1942). — [41] CATCHESIDE, D. G., LEA and THODAY: J. Genet. 47, 113 (1946). — [42] SAX, K.: Cold Spring Harbor Sympos. quantitat. Biol. 9, 93 (1941). — [43] CATCHESIDE, D. G., LEA and THODAY: J. Genet. 47, 137 (1946). — [44] KOLLER, P. C.: Brit. J. Radiol. 19, 393 (1946). — [45] SAX, K., and ENZMANN: Proc. nat. Acad. Sci. U.S.A. 25, 397 (1939). — [46] FABERGÉ, A. C.: J. Genet. 39, 229 (1940). — [47], [48] SAX, K.: Genetics 25, 41 (1940); 32, 75 (1947). — [49] SWANSON, C. P., and HOLLAENDER: Proc. nat. Acad. Sci. U.S.A. 32, 295 (1946). — [50] SWANSON, C. P.: Amer. J. Bot. 34, 12a (1947). — [51] SWANSON, C. P.: Genetics 29, 61 (1944). — [52] RILEY, H. P., and GILES: Genetics 35, 131 (1950). — [53] BAKER, W. K., and SGOURAKIS: Genetics 35, 96 (1950). — [54] OEHLKERS, F.: Z. Vererbgsl. 81, 313 (1943). — [55], [56] AUERBACH, CH.: Drosophila Information Service (D. I. S.) 27, 48 (1944). — Proc. roy. Soc. Edinburgh B 62, 211 (1946). — [57] OEHLKERS, F.: Sitzgsber. Heidelberg. Akad. Wiss., Math.-naturwiss. Kl. 9 (1949). — [58] DARLINGTON, C. D., and KOLLER: Heredity 1, 187 (1947). — [59] FORD, C. E.: Proc. 8th Int. Congr. Genet. S. 570. 1948. — [60] NOVIK, A., and SPARROW: J. Hered. 40, 13 (1949). — [61], [62] MARQUARDT, H.: Experientia 5, 401, 443 (1949). — [63] OEHLKERS, F., u. LINNERT: Z. Vererbgsl. 83, 136 (1949). — [64], [65] VOGT, M.: Z. Vererbgsl. 83, 324, 341 (1950). — [66] KAUFMANN, B. P., GAY and ROTHBERG: J. of exper. Zool. 111, 413 (1949). — [67] BACQ, Z. M.: Experientia 2, 349 (1946). — [68] HEILMEYER, L., MERCK u. PIRWITZ: Klinik und Pharmakologie des Urethans und anderer zytostatischer Stoffe. Stuttgart 1948. — [69] KUHN, K., u. BIELIG: Ber. dtsch. chem. Ges. 73, 1080 (1940). — [70] BECK, G. E., u. MEIER: Experientia 3, 371 (1947). — [71] CROMWELL, B. T.: Biochemic. J. 37, 717 (1943). — [72] PAECH, K.: Biochemie und Physiologie der sekundären Pflanzenstoffe. Berlin 1950. — [73] CORNMAN, J.: J. of exper. Biol. 23, 292 (1947). — [74] OESTERGREN, G.: Bot. Notiser 1948, 376. — [75] KIHLMAN, B., u. LEVAN: Hereditas (Lond.) 35, 109 (1949). — Exp. Cell. Research 1, 135 (1950). — [76], [77] KIHLMAN, B.: Hereditas (Lond.) 36, 103 (1950). — [78] OEHLKERS, F.: Proc. 8th Int. Congr. Genetics, S. 635. 1949. — [79] WYSS, W. S., STONE and HAAS: Proc. nat. Acad. Sci. U.S.A. 33, 59 (1947). — [80] WYSS, O., CLARK, HAAS and STONE: J. Bacter. 56, 51 (1948). — [81], [82] WAGNER, R. P., HADDOX, FUERST u. STONE: Genetics 35, 581 (1949); 36, 237 (1950). — [83] DICKEY, F. H., CLELAND and LOTZ: Proc. nat. Acad. Sci. U.S.A. 35, 581 (1949). — [84], [85] FABERGÉ, A. C.: Genetics 33, 609 (1948); 35, 104 (1950). — [86] MAURY and LE FORT: Nature (Lond.) 162, 381 (1948). — [87] DEMEREC, M.: Carnegie Inst. Wash. Year Book 47, 139 (1948). — [88] SEARS: Genetics 24, 509 (1939). — [89] ERNST, H.: Z. Bot. 35, 161 (1940). — [90] EMSWELLER and JONES: Bot. Gaz. 99, 729 (1938). — [91] HAKANSSON: Hereditas 36, 39 (1950). — [92] HEITZ, E.: Jahrb. wiss. Bot. 61 (1928). — [93] MARQUARDT, H.: Z. Zellforschg. 27, 159 (1937). — [94] SCHULZ u. HUSEMANN: Z. Naturforschg. 2 (1946). — [95] ELMORE, D. T. u. Mitarb.: Biochemic. J. 42, 308 (1948). — [96] GOLDACRE, R. J., A. LOVELESS and W. C. J. ROSS: Nature (Lond.) 163, 667 (1949). — [97] MCELROY, W. D., and G. DE LA HABA: Science (Lancaster, Pa.) 110, 640 (1949). — [98] DODSON, E. O.: Univ. California Publ. Zool. 53, 281 (1948).

Aus der Forstbotanischen Abteilung des Botanischen Instituts der Universität Freiburg i. Br.

Eingegangen am 1. Juni 1950.

Die Klimaphasen der Würmeiszeit.

(Beiträge zur Geomorphologie der Klimazonen und Vorzeitklimate IV *.)

Von JULIUS BÜDEL, Göttingen.

Die richtige zeitliche Gliederung des Pleistozäns (Eiszeitalters) in seine einzelnen Klimaabschnitte ist eine der ältesten und wichtigsten Fragen der Quartärforschung. Sie ist bekanntlich auch heute noch nicht ganz gelöst. Entschieden ist zwar der Streit zwischen Mono- und Polyglazialisten: es gab zweifellos innerhalb des Pleistozäns mehrere durch Warmzeiten getrennte Kaltzeiten. Aber schon die Anzahl dieser Groß-Klimazeiten des Pleistozäns ist bis heute erst nach unten sicher begrenzt; d. h. es steht fest, daß wir es hier mindestens mit vier Kalt- und drei zwischenliegenden Warmzeiten zu tun haben. Es können aber auch mehr gewesen sein. Unwahrscheinlich ist zwar, daß wir vor die bisher *älteste* Kaltzeit (Günz- oder Nebraskaneiszeit) noch eine ältere legen und so das Pleistozän auf Kosten des jüngsten Pliozäns noch etwas nach rückwärts ausdehnen müßten, wie dies EBERL

*) Der Aufsatz setzt die 1944 begonnene, zwanglose Schriftenreihe zu diesem Thema fort und schließt sich dabei besonders eng an den Beitrag III (BÜDEL, 1949a) an. Während dieser vornehmlich die *räumliche* Verteilung der würmeiszeitlichen Klimazonen im weiteren Umkreis Europas betrachtete, folgt hier eine Untersuchung der *zeitlichen* Phasenfolge des würmeiszeitlichen Klimas. Für die hierfür nötigen Geländebegehungen erhielt ich einen Zuschuß von der Akademie der Wissenschaften in Göttingen (durch Herrn H. MORTENSEN). Im Exkursionsgebiet unterstützten mich außerdem das Hessische Landesamt für Bodenforschung in Wiesbaden (durch die Herren F. MICHELS, E. SCHÖNHALS und A. SCHWARZ), die Geologische Abteilung des Württembergischen Statistischen Landesamtes in Stuttgart (durch die Herren F. WEIDENBACH, H. FREISING und S. MÜLLER) sowie die Herren F. FIRBAS (Göttingen), H. GRAUL (Gutenzell bei Biberach-Riß), F. KLUTE (Mainz), K. SAUER (Freiburg), O. SICKENBERG (Göttingen), G. WAGNER (Tübingen), W. WAGNER (Darmstadt), FR. WIEGERS (Göttingen) und O. WITTMANN (Lörrach). Allen diesen Helfern sei auch hier herzlich gedankt.

(1930) mit seiner „Donaueiszeit" vermutet hat. Aber schon heute kann man absehen, daß einzelne Kaltzeiten (insbesondere die Mindel- oder Kansan- und die Rißeiszeit) unter Umständen in *zwei* getrennte Kaltzeiten mit je einer zwischenliegenden echten Warmzeit (Interglazial) aufgeteilt werden müssen und nicht nur durch kleine Wärmeausschläge innerhalb des Kaltzeitklimas (Interstadiale) zu gliedern sind. Die heute wahrscheinlichste Form dieser Gliederung ist in Fig. 1 durch die ungefähre Kurve der mittleren Julitemperatur seit dem Beginn des Pliozäns wiedergegeben[1]). Sie zeigt, daß wir in Wahrheit mit 5 bis 6 Kalt- und 4 bis 5 Warmzeiten, d. h. also mit einer Gliederung des Pleistozäns in 9 bis 11 (statt bisher 7) klimatische Großabschnitte rechnen müssen. Dabei gehen sowohl die ältere, von PENCK und BRÜCKNER (1909) klassisch fixierte Gliederung wie deren moderne Erweiterungen (so durch WEIDENBACH 1937, GRAUL 1949a, b, c, u. a.) fast allein auf Beobachtungen an ehemaligen *Gletschergebieten* zurück (vornehmlich Alpen, Nordeuropa und Nordamerika), die hier in der Tat eine sehr weitgehende Übereinstimmung erkennen lassen.

Diese Kurve läßt nun (ungeachtet der über die wahre Zahl ihrer Großabschnitte ausstehenden letzten Entscheidung) zwei sehr auffällige Tatsachen erkennen. Die erste: vergleicht man jede Kaltzeit dieser Kurve mit der vorangehenden und folgenden Warmzeit oder ebenso jede Warmzeit mit den sie einrahmenden Kaltabschnitten, so wird der mehrfache Klimawechsel, der das ganze Eiszeitalter beherrscht, sehr deutlich. Vergleicht man aber einmal sämtliche Kaltzeiten und ebenso sämtliche Warmzeiten unter sich, so sieht man, daß sie einander in ihren Klimazuständen sehr ähnlich sind. Das Eiszeitalter wird also durch zwei recht gleichartige *Klimaniveaus* gekennzeichnet, deren Herrschaft sich im Wechsel von Glazial- und Interglazialzeiten rhythmisch ablöste. Daß dabei die jüngeren und insbesondere die letzte Zwischeneiszeit der Nacheiszeit bis in Einzelheiten des Klimaverlaufes ähneln, haben die Ergebnisse der Pollenanalyse vielfach bestätigt (FIRBAS 1925, 1927, TROLL 1930, GAMS 1935, WOLDSTEDT 1948, WOLDSTEDT, REIN, SELLE 1948). Die Nacheiszeit, die wir natürlich am besten kennen (insbesondere durch FIRBAS 1949) fügt sich damit dem oberen — warmzeitlichen — Klimaniveau des Eiszeitalters völlig ein; sie bleibt dabei mit ihren Maximaltemperaturen sogar noch etwas hinter den Höhepunkten der jüngeren Interglazialzeiten zurück und zeigt so jedenfalls in Mitteleuropa nicht das geringste Anzeichen zur Wiederkehr voreiszeitlich-tertiärer (d. h. sub- und randtropischer) Klimazustände.

Aber noch ein zweites wichtiges Ergebnis können wir der Klimakurve des Pleistozäns in Fig. 1 entnehmen. Neben den 9 bis 11 *Großabschnitten*, die von unserer Kurve so deutlich den beiden Hauptklimaniveaus zugeordnet werden, gehen kleinere Schwankungen einher, welche die Großabschnitte ihrerseits wieder in einzelne *Kleinphasen* zerlegen. Es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, daß solch eine Phasengliederung zweiter Ordnung jeden dieser Großabschnitte und damit das ganze Eiszeitalter beherrscht. Besteht aber, wie wir sahen, über die Großgliederung des Pleistozäns wenigstens in den Grundzügen Übereinstimmung, so sind wir bezüglich dieser Kleingliederung noch weit von einer solchen entfernt.

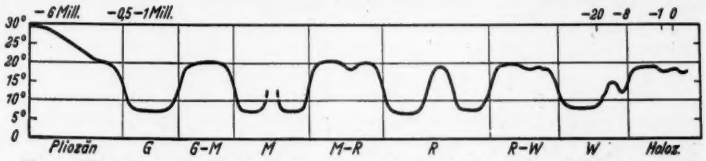


Fig. 1. Klimakurve des Eiszeitalters, ausgedrückt durch die mittlere Julitemperatur der mitteleuropäischen Beckenlandschaften. Oben: Jahre (Mill. bzw. Tausend, der Maßstab vergrößert sich nach rechts); links: Temperatur in °C; unten: geologische Perioden. (*G* Günzeiszeit; *M* Mindeleiszeit; *R* Rißeiszeit; *W* Würmeiszeit; *Holoz.* Holozän.)

Wie die Kurve andeutet, besitzen wir ein völlig sicheres Bild dieser Kleinphasen nur von der Nacheiszeit und der letzten Interglazialzeit, d. h. von den beiden jüngstvergangenen Warmzeiten, für die wir in der Pollenanalyse eine äußerst exakte klimageschichtliche Forschungsmethode besitzen. Für die Kaltzeiten aber versagt gerade diese Methode, da das damals in Mitteleuropa herrschende Tundrenklima nur spärliche fossile Pflanzenreste zurückließ und weiter im Süden, etwa im Mediterrangebiet, wo auch während der Kaltzeiten ein üppigeres Pflanzenwachstum die Bildung von Torflagern erlaubte, wiederum mangels ganz sicherer Kennzeichen für die Glazialperioden überhaupt die Einstufung solcher Torfprofile in die eiszeitliche Großklimafolge sehr schwierig wird (FIRBAS 1936, BLANC 1936, 1938, TONGIORGI 1938, LAUTENSACH 1942). Unter diesen Umständen ist bisher zur Untergliederung der Kaltzeiten in einzelne Kälte- und Wärmeausschläge (Interstadiale) fast ausschließlich dieselbe Methode herangezogen worden, die auch für die Großgliederung des Eiszeitalters — und dort mit recht gutem Erfolg — benutzt worden war, nämlich die Verfolgung der eiszeitlichen Gletscherstände. Auf diese Methode gehen auch insbesondere fast alle heute in der Literatur verbreiteten *Gliederungsvorschläge der Würmeiszeit* zurück, die als unmittelbarer Vorläufer der geologischen Gegenwart natürlich für uns das meiste Interesse besitzt.

Alle solche Vorschläge blieben jedoch bis jetzt unbefriedigend und zwar in doppelter Hinsicht. Einmal ließen sie auch nach ihren neuesten Fassungen *keine übereinstimmenden Parallelisierungen* zu (etwa zwischen WOLDSTEDT 1929, EBERL 1928, 1930, LEIGHTON 1933, KNAUER 1935, 1937, TROLL 1936, FOSTER-FLINT 1948 und besonders DEEVEY 1949). Vor allem aber erlaubten sie, worauf jüngst auch WOLDSTEDT

[1]) Die Kurve bezieht sich auf die wärmeren Beckenlagen Mitteleuropas, etwa die Oberrheinlande oder Innerböhmen. Mit Absicht wurde die Julitemperatur gewählt, die sowohl für die Verschiebung der Schneegrenze wie der Waldgrenze den entscheidenden Faktor darstellt (BRUSCH 1949, SEIFFERT 1950) und aus den paläogeographischen und paläobotanischen Zeugnissen für die Kalt- und Warmzeiten viel sicherer abzuschätzen ist, als die ausdruckslose mittlere Jahrestemperatur. Für das Pliozän wird natürlich auch die Schätzung der mittleren Julitemperatur sehr ungenau. Daß die Kurve der Fig. 1 für das Unterpliozän sich + 30° C nähert, soll nur andeuten, daß um diese Zeit in Mitteleuropa bereits kein volltropisches Regenwaldklima (mit ausgeglichenen Temperaturen aller Monate von rund 25°), sondern ein randtropisches Klima mit größeren Ausschlägen und daher auch heißeren Sommern herrschte. Nach der durchgehenden Abkühlung des Klimas im Mittelpliozän soll die zeitweilige Verflachung der Kurve im Oberpliozän (in Übereinstimmung mit A. M. DAVIS 1934, ZEUNER 1945, SICKENBERG 1949 u. a.) nur die Tatsache unterstreichen, daß schon vor der ersten Kaltzeit das Klima des jüngsten Pliozän zeitweilig auf einem Niveau hielt, das den pleistozänen Warmzeiten und der Nacheiszeit ähnelte.

(1948) mit Nachdruck verwies, *keine Einstufung der übrigen eiszeitlichen Ablagerungen* in ihre Phasenfolge. Selbst in Mitteleuropa und vielmehr noch in West- und Südeuropa (von anderen Erdteilen ganz zu schweigen) sind aber die nichtglazigenen Eiszeitablagerungen von ungleich viel größerer Bedeutung als die glazigenen (BÜDEL 1944). Unter diesen Umständen muß das Problem der Phasengliederung der Kaltzeiten bis heute als ungeklärt gelten.

Eine solche Lösung ist aber aus mehr als einem Grunde für die Eiszeitforschung sehr wichtig. Solange wir zwar die Phasenfolge von Warmzeiten, nicht aber von Kaltzeiten kennen, bleibt gerade das entscheidende Problem der Sukzessionsfolge des eigentlichen „Eiszeitklimas" im Rahmen des Gesamtpleistozäns ungelöst. Damit wird auch die Erklärung der Ursachen des Eiszeitklimas und die Abschätzung des Gewichtes der einzelnen einflußnehmenden Faktoren erschwert. Endlich steht ja — wie wir schon einleitend betonten — von einer ganzen Reihe von Erscheinungen noch nicht fest, ob sie bloß einem kleinen Wärmeausschlag innerhalb einer Kaltzeit (Interstadial) oder nicht vielmehr einer selbständigen Warmzeit (Interglazial) im Rahmen des ganzen Eiszeitalters entsprechen. So bleibt, solange die Phasengliederung der einzelnen Kaltzeiten noch nicht endgültig geklärt ist, notwendig auch die Großgliederung des Eiszeitalters noch mit einer gewissen Unsicherheit belastet.

Die Aufhellung der *Klimaphasen* einer Kaltzeit ist dabei natürlich am ehesten für die *Würmeiszeit* zu erwarten, deren — glazigene wie nichtglazigene — Spuren ja noch ungleich viel frischer erhalten sind als die der vorangegangenen. Andererseits ist gerade für sie das Bedürfnis nach einer sicheren Lösung am stärksten. Dank der Ähnlichkeit ihres „Klimaniveaus" mit den älteren Kaltzeiten kann sie dabei weitgehend auch als Analogon für diese gelten.

Wie schon angedeutet, sehen wir den Grund für den unbefriedigenden Stand unseres Problems in der begrenzten Leistungsfähigkeit des bisher in erster Linie zu einer solchen Phasengliederung herangezogenen Mittels: der Stadien der in den Kaltzeiten gewaltig angewachsenen *Gletscher*. Diese stellen zwar einen morphologisch sehr auffälligen, leicht erkennbaren Zug, aber keineswegs die übergeordnete, ursächliche Wurzel der eiszeitlichen Erscheinungen dar. Selbst ihre sekundären Rückwirkungen auf das Eiszeitklima sind viel geringer, als man bisher annahm (BÜDEL 1949a): fast nur dadurch, daß sie zugleich auch die eustatische Senkung des Meeresspiegels während der Kaltzeiten verursachen, üben sie indirekt einen spürbaren Einfluß auf das Kaltzeitklima aus (s. unten). Der Ausgangspunkt und das tiefste bisher sicher erfaßbare Glied in der Ursachenreihe des Eiszeitphänomens liegt vielmehr in einem allgemeinen, die ganze Erde umfassenden, rhythmisch ablaufenden primären *Abkühlungsvorgang*. Die geringere Erwärmung der Äquatorialregion bedingte eine *Abschwächung der gesamten atmosphärischen Zirkulation*, wie sie für die Außertropen von BÜDEL (1949a) und seitdem auch von v. WISSMANN (1950) wahrscheinlich gemacht und für die Tropen sehr klar aus den Ergebnissen von SELLING (1948) hervorgeht. Nach dem letzteren lag die Grenzfläche zwischen Passat und Antipassat damals auf den Hawaiischen Inselvulkanen mehrere 100 m tiefer als heute, d. h. sie war ebenso herabgedrückt wie die noch über ihr gelegene Schneegrenzfläche[1]). Mit einem derart abgeschwächten Passat stimmt gut die schon früher aus einer Reihe ganz anderer Erscheinungen abgeleitete Tatsache überein, daß die Roßbreiten damals dem Äquator nähergerückt waren[2]). In noch stärkerem Maße waren die Zonen der Westwinddrift äquatorwärts verschoben und zugleich etwas zusammengedrängt[3]), und ebenso die permanenten Kaltluftkalotten um die Pole bis in mittlere Breiten ausgedehnt. Mit anderen Worten: der vertikalen Herabdrückung aller Höhengrenzen in den Kaltzeiten entsprach eine ebensolche horizontale Verschiebung der großen Zirkulations- und Klimagürtel gegen den Äquator hin. (Eine eingehendere Darstellung der hier nur kurz skizzierten neuen Anschauung über die eiszeitlichen Zirkulationsverhältnisse der Erde ist in Vorbereitung.)

Von diesen übergeordneten klimatischen Phänomenen: der primären Abkühlung, der abgeschwächten Zirkulation und der vertikalen und horizontalen Verschiebung der Klimagürtel ist aber das Riesenwachstum der Gletscher nur *eine Folge*erscheinung neben vielen anderen. Selbst wo dies schon bisher grundsätzlich anerkannt wurde, nahm man dennoch an, daß die Gletscher ein besonders klarer Spiegel dieser Klimaentwicklung seien. Das stimmt aber nicht. Das Anschwellen und Abschmelzen der Gletscher und besonders der großen Inlandeisgebiete ist vielmehr von allen eiszeitlichen Vorgängen gerade derjenige, der auf den primären klimatischen Anstoß am trägsten reagierte (BÜDEL 1949a). Am raschesten paßt sich die Hydrologie: der Wasserhaushalt und das Regime der Flüsse an eine Umstellung des Klimas an und ähnlich rasch auch die Lebewelt: die Tiere und die Pflanzendecke. Es folgen die durch die Flüsse ausgelösten Formbildungsprozesse. Sehr viel langsamer stellen sich schon die Vorgänge der Bodenbildung und der flächenhaften Denudation und Akkumulation auf die neuen Klimabedingungen ein. Mit diesen Vorgängen mag die dem Herabrücken der Schneegrenze relativ rasch nachfolgende Ausbildung kleinerer Gletschergebiete noch einigermaßen Schritt halten. Am stärksten aber müssen die großen Landeismassen

[1]) Dies neue Ergebnis SELLINGS erinnert an die Verhältnisse in den Außertropen, wo ebenfalls nicht nur die Schneegrenze allein, sondern auch die übrigen klimatischen Höhengrenzen zur Eiszeit stark herabgedrückt waren: die Obergrenze der Tundrenstufe, die obere Waldgrenze und — im Mediterrangebiet — die Obergrenze der immergrünen Gewächse.

[2]) Daß die heutige Lage der Roßbreiten und damit das Kernstück der heutigen planetarischen Zirkulation im ganzen Laufe der Erdgeschichte immer die gleiche geblieben sei, ist zweifellos eine unberechtigte Annahme; es wird damit — wie wir schon an anderen eiszeitlichen Erscheinungen uns zu zeigen bemühten — die Rolle des geologischen Aktualismus weit überschätzt. Während die Roßbreiten in den Eiszeiten äquatornäher lagen, waren sie im Alttertiär, in dem die ganze Erde offenbar ein wärmeres Klima als heute trug, nach SCHWARZBACH (1946) auf der Nordhalbkugel um 10 bis 15°, gelegentlich sogar bis 20°, und auf der Südhalbkugel rund 10° weiter polwärts vorgeschoben als heute!

[3]) Hierdurch ergab sich *örtlich*, z. B. im Südteil des heutigen Mittelmeergebietes, der Fall, daß an Stelle der jetzt dort während eines großen Teiles des Jahres recht stabilen Roßbreiten damals viel öfter von Westen her durchziehende Minimas vorkamen, d. h. also *lokal eine Verstärkung der Zirkulation* (und eine Zunahme der Niederschläge) während der Kaltzeiten eintrat. Diesem Befund fügt sich das gleichgerichtete Ergebnis MORTENSENS (1929) aus dem entsprechenden Klimagebiet der Westküste Südamerikas gut ein. Ungeachtet solcher Ausnahmen müssen wir aber im ganzen dennoch mit einer allgemeinen Abschwächung der Zirkulation auf der damals weniger stark erwärmten Erde rechnen, während wir Perioden größerer Wärme und verstärkter Zirkulation während des Pleistozäns (MEINARDUS, 1928) dann doch wohl in die Interglazialzeiten verlegen müssen (BÜDEL, 1949a).

der Klimaentwicklung nachhinken, die sich ja erst mit Hilfe komplizierter Selbstverstärkungsvorgänge dadurch ausbilden, daß nach oben allmählich ein immer größerer Teil ihrer Oberfläche die Firnlinie überragt, während ihr Volumen gleichzeitig durch isostatisches Eindrücken der Gesteinsunterlage auch nach unten zunimmt. In einer noch unveröffentlichten Arbeit kam LOUIS (1950) zu dem Ergebnis, daß das große nordeuropäische Inlandeis der Würmeiszeit zu seiner Entstehung nicht nur Jahrtausende, sondern mehrere Jahrzehntausende volleiszeitlicher Klimazustände gebraucht haben müsse. Diese Zeitspanne liegt aber schon in der Größenordnung der pleistozänen Klimagroßphasen (Dauer der ganzen Nacheiszeit bekanntlich nur ein starkes Jahrzehntausend!). Das bedeutet, daß die Entwicklung einer solchen Inlandeismasse, dargestellt durch die „Vereisungskurve" des betreffenden Gebietes, gegenüber der allgemeinen „Klimakurve" sehr stark deformiert sein muß, indem nicht nur kleine Klimaschwankungen durch die eigengesetzlichen Faktoren der Landeisbildung stark verzerrt oder ganz überschlagen werden können, sondern auch gegenüber den klimatischen Großphasen eine starke Verschiebung der Höhepunkte eintritt; ein Umstand, der bisher schon aus einer Reihe von anderen Erscheinungen gefolgert wurde (so von SCHWARZBACH 1940, TROLL 1948 u. a.). Es kommt dazu, daß diese Phasenverschiebung gegenüber dem Klimagang natürlich bei jedem Gletschergebiet, je nach Größe und Lokalgestalt, wieder ganz anders ist, so daß das Gletscherphänomen als Ganzes die Klimaentwicklung sogar noch in einer ganz verschiedenartigen Verzerrung widerspiegelt.

Als fossile Klimazeugen sind daher gerade die großen Gletschergebiete nur in einem sehr eingeschränkten Sinne verwendbar. Sie bleiben wegen der Auffälligkeit ihrer morphologischen Spuren, ja zum Teil auch gerade dadurch, daß ihre Entwicklung (unter Überschlagung kleinerer Klimaschwankungen) so *lange Zeiten* benötigt, nach wie vor das zuverlässigste Mittel, um eine *langandauernde Kaltgroßphase*, das Vorliegen einer wirklichen „Eiszeit" sicher zu erkennen, so wie sie in dieser Eigenschaft ja die großen Erfolge der klassischen Eiszeitforschung, vor allem durch PENCK und BRÜCKNER (1909), ermöglicht haben. Dadurch, daß sich dabei die Formen der letzten Eiszeit durch ihre mangelnde Überarbeitung durch spätere Phasen scharf von denen älterer Eiszeiten absetzen, lassen sich dabei die Gletscherspuren der Würmeiszeit noch besonders gut und klar isolieren, während für das ältere Pleistozän die Trennung der einzelnen „Eiszeiten" noch nicht völlig geklärt ist (s. Fig. 1). Die Ablagerungen der großen Gletschergebiete sind also das ideale Unterscheidungsmerkmal zum Nachweis der *Würmeiszeit als Ganzes* und haben in diesem Sinne auch in der folgenden Untersuchung ihren festen Platz. Dagegen sind sie eben wegen ihrer starken Einebnung und Phasenverschiebung der Klimakurve zur Erkenntnis der kleineren Klimaphasen (Interstadiale) innerhalb der Würmeiszeit besonders ungeeignet.

Wir bauen diese Erkenntnis auch in die Definition der Begriffe *klimatischer Großabschnitt* (Interglazial = Zwischeneiszeit, Glazial = Eiszeit, Kaltzeit) und *klimatische Kleinphase* (Interstadial = Warmphase, Stadial = Eiszeitphase, Kaltphase) ein, deren wir uns bei der folgenden Untersuchung bedienen wollen. Eine volle Klimafolge *Interglazial—Glazial* liege vor, wenn sich das Eis im norwegischen Hochgebirge und in den Alpen mindestens bis zu dem Stand zurückgezogen hat, der seit langem zur Markierung der Wende zwischen Spätglazial und Postglazial benutzt wird (d. h. dem Zerfall des skandinavischen Eiskuchens und dem Rückzug der Ostalpengletscher in die Zentralalpen), wenn zugleich — was viel leichter nachweisbar ist — in Mitteleuropa eine der Nacheiszeit entsprechende wärmeliebende Laubwaldvegetation eingezogen war und dann, von einem solchen Stand aus, das Klima so lange auf das „Kaltzeitniveau" sank, daß sich von neuem große Eiskuchen von N und S nach Mitteleuropa vorschieben konnten. Ein *Interstadial* liegt dann vor, wenn trotz einer gewissen Erwärmung das Eis unverändert eine geschlossene Decke über großen Teilen Skandinaviens und der Alpen bewahren konnte und gleichzeitig im eisfreien Mitteleuropa allenfalls eine subarktische Pflanzenwelt (Kiefern- Birkenwald), nicht aber eine ausgesprochene wärmeliebende Laubwaldflora einzog.

Zu einer Rekonstruktion der übergeordneten *Klimaphasen der Würmeiszeit* müssen demnach neben den Gletscherspuren auch die Reste der anderen, in ihren Schwankungen viel unmittelbarer mit dem Klimagang gekoppelten Eiszeitvorgänge herangezogen werden. Die Ergebnisse der Pollenanalyse lassen uns vorläufig nur den Beginn der Würmkaltzeit (d. h. das Ausklingen des letzten Interglazials in eine subarktische Kiefern- Birkenphase) sowie deren Abschluß in der dreiteiligen Spätglazialzeit (ältere Tundrenzeit, Alleröd-Interstadial, jüngere Tundrenzeit, vor allem nach FIBRAS 1947, 1949) verfolgen. Für die eigentliche Hoch-Würmeiszeit müssen wir jedoch auf andere Klimazeugen zurückgreifen. An solchen bietet Mitteleuropa mit der großen Ausdehnung mit Vielgliedrigkeit seiner würmeiszeitlichen Tundren- und Steppenklimate (BÜDEL 1949a) eine besonders reichhaltige Auswahl: *nichtglazigene Flußterrassen*, Formen der *Mikrosolifluktion* (Polygonböden, Eiskeile) auf flachen, der *Makrosolifluktion* (Fließerden, Wanderschuttdecken) auf stärker geneigten Böschungen und vor allem *Löße* verschiedenen Alters, *fossile Verwitterungsdecken* und *Dünen*. Es kommt aber nicht nur darauf an, diese Sedimenttypen einzeln auf ihre klimageschichtliche Bedeutung zu prüfen, sondern vor allem, neue Wege zu finden, um die aus diesen nichtglazigenen Sedimenten *und* den Gletscherablagerungen gewonnenen Klimazeugnisse miteinander verbinden zu können. Auch für eine solche Verknüpfung bietet Mitteleuropa dank seiner ausgedehnten Gletschergebiete im Norden und Süden besonders günstige Bedingungen.

Die bisherigen Versuche, hier zur Rekonstruktion des eiszeitlichen Klimaganges auch nichtglazigene Formen und Ablagerungen heranzuziehen, gehen in erster Linie auf W. SOERGEL (1919, 1925) zurück. Daß sie unbefriedigend blieben, liegt weniger an SOERGEL selbst, als an zwei eigenartigen Mißverständnissen, die nachträglich aus seinen — damals richtungweisenden, wenn auch heute überholten — Ergebnissen erwuchsen.

In seiner ersten Arbeit machte SOERGEL (1919) den Versuch, die durch Verwitterungshorizonte (fossile Bodendecken, Lehmzonen, in Österreich „Laimenzonen") getrennten Löße der mitteldeutschen Börden-

zone mit den norddeutschen Eisrandlagen zu verknüpfen. Er kam zu dem Ergebnis, daß hier neben einem älteren, rißeiszeitlichen *drei „jüngere" würmeiszeitliche Löße vorlägen* (jüngerer Löß I, jüngerer Löß II und der weniger bedeutende „jüngste Löß"). Zum mindesten die jüngeren Löße I und II sollten dabei zwei verschiedene Kaltphasen der Würmeiszeit darstellen, die durch ein großes, warm-feuchtes Interstadial, das „Aurignac-Interstadial" voreinander getrennt seien. SOERGEL ordnete diese Löße nun — zum Teil mit guten Gründen — bestimmten Endmoränen zu, die damals noch für würmeiszeitlich galten. So setzte er seinen ältesten Würmlöß („jüngeren Löß I") mit einer Moränenfolge gleich, die aus der Gegend von Halle zum Fläming hinüberstreicht, also in Wirklichkeit dem Saale- und Warthestadium angehört. Das erste hier eingetretene Mißverständnis besteht darin, daß man zwar die dieser Kaltphase zugeschriebenen Moränen inzwischen eindeutig und allgemein als *rißeiszeitlich* erkannt hat, dem von SOERGEL und vielen späteren immer wieder gefundenen „jüngeren Löß I" hingegen sein würmeiszeitliches Alter beließ! Auch SOERGEL blieb bei dieser Meinung und wurde in seiner Dreigliederung der Würmeiszeit dadurch bestärkt, daß er später (1925) an mitteldeutschen Flüssen auch drei würmeiszeitliche Flußterrassen nachweisen zu können glaubte und diese Zahl endlich auch in den drei Ausschlägen des der Würmeiszeit zugeschriebenen Teiles der Strahlungskurve von MILANKOVITCH (1930, 1941; für die Südhalbkugel ergänzt von MEINARDUS 1944) bestätigt fand. In seiner „Vollgliederung des Eiszeitalters" kam er so zu einer Einteilung der Würmeiszeit in eine W I-, W II- und W III-Phase. *Genau dieselben Abkürzungen:* W I, W II und W III wandte nun drei Jahre später EBERL (1928, 1930) für die einwandfrei würmeiszeitlichen drei Endmoränenstadien des Illergletschers im Alpenvorland an, deren Beziehungen zu irgendwelchen Lößen dabei aber in keiner Weise diskutiert wurden. Daraus entstand nun das folgenschwere zweite Mißverständnis: denn diese äußerlich gleichlautenden, nominell für die gleiche Eiszeit geltenden Bezeichnungen wurden in der Folgezeit bald auch *inhaltlich* gleichgesetzt. Die so auf der scheinbaren Übereinstimmung von Moränenstadien, Lößfolgen, Flußterrassen und astronomischen Werten beruhende Dreigliederung der Würmeiszeit wurde dann vielfach in die Literatur — besonders auch die außerdeutsche — übernommen und ist so heute beinahe zum Gemeingut der Wissenschaft geworden[1]).

Reell ist von alledem nur die Dreigliederung der hochwürmeiszeitlichen Endmoränen; und selbst hier ist im Umkreis der Alpen (s. unten) für das innerste dieser Stadien noch umstritten, ob es beim Vorstoß oder Rückzug des Eises gebildet wurde. Von den übrigen Erscheinungen beruht die Zuordnung jener Zacken in der MILANKOVITCH*schen* Strahlungskurve zur Würmeiszeit auf einer reinen Hypothese, die des „jüngeren Löß I" — jedenfalls im Sinne SOERGELS — auf einer Verwechslung, und auch die nichtglazigenen Flußterrassen Mitteleuropas zeigen (wie wir gleich sehen werden) in Wirklichkeit eine ganz andere Gliederung. Endlich ist von keiner dieser Erscheinungen bisher eine sichere Parallelisierung mit der anderen oder mit den Würmmoränen nachgewiesen worden.

Zu unserer neuen Phasengliederung der Würmeiszeit gehen wir von der Verknüpfung unmittelbar klimaabhängiger Eiszeitrelikte: von Lößen, Fließerden und nichtglazigenen Flußterrassen aus, um diese dann mit Moränen und fluvioglazialen Schotterfluren zu verknüpfen.

Das allgemein eiszeitliche, und zwar in der heutigen Form überwiegend würmeiszeitliche Alter der in Mitteleuropa so weit verbreiteten Fließerde-Bodendecken wurde schon früher nachgewiesen (BÜDEL 1937, 1944). Ebenso steht seit SOERGEL (1919) das eiszeitliche Alter des *Löß* fest. In den *meisten* Lößgebieten Mitteleuropas finden wir dabei nur *einen* Löß, der unmittelbar das Liegende der nacheiszeitlich auf ihm entstandenen, aus Lößlehm bestehenden Verwitterungsdecke bildet. Es ist der Löß, den SOERGEL in seinen Profilen als „jüngeren Löß II" bezeichnet. Sein speziell würmeiszeitliches Alter ist dort sicher nachweisbar, wo er sich auch über die jüngsten Ablagerungen der Rißeiszeit (Moränen und Schotterfluren) erstreckt.

Rein an der Erdoberfläche betrachtet kommen Löße und Fließerden bei uns in zwei getrennten Bereichen vor. Diese entsprechen zwei verschiedenen Klima- und Vegetationszonen des eiszeitlichen Mitteleuropa (BÜDEL 1949a). Die reicher bewachsene, damals recht steppenhaft-trockene Tundra der tieferen Tal- und Beckenlagen war das Ablagerungsgebiet des Lößes; in der schütter bewachsenen, feucht-kalten Frostschuttundra der höheren Gebirge übertönten dagegen die kräftigen Fließerdebewegungen alle anderen Arten der eiszeitlichen Sedimentation. Die Grenzfläche beider Bereiche war die „obere Lößgrenze", die sich von rund 600 m am Südsaum Mitteleuropas bis zum Nordrand der Bördenzone, d. h. eben der „polaren Lößgrenze" hart nördlich der Mittelgebirgsschwelle herabsenkte und dort etwa das Meeresniveau erreichte.

Unter solchen Umständen werden wir eine Berührung zwischen Löß und Fließerde zunächst im Höhenbereich dieser Grenzfläche erwarten. In der Tat treten hier die beiden Sedimente weithin in Wechsellagerung. Diese vollzieht sich nun *überall*, ohne Ausnahme, in einer immer gleichbleibenden, sehr eigenartigen Weise. Niemals ist in solchen Profilen von oben bis unten eine gleichmäßige Verzahnung zu finden. Vielmehr liegt an der Basis einer solchen, zeitlich zusammengehörenden Schichtfolge *stets* die Fließerde; dann kommt eine Zwischenzone, in der dünne, horizontale (meist verschwemmte) Lößschichten noch mit Fließerdebändern oder einzelnen (windverwehten oder verschwemmten) Sandlagen wechseln, darüber folgt dann zunächst häufig horizontal geschichteter und dann erst im obersten Teil des Profils der eigentliche Normallöß mit senkrechter Struktur. Es gibt auch Profile, in denen die basale

[1]) So heißt es schon 1932 in einem der bekanntesten Lehrbücher der Geologie: „Den drei Endmoränenstadien, des Brandenburger, Frankfurter und Pommerschen Stadiums würden die drei Würmeiszeiten SOERGELS entsprechen." Lagen hier in dem Konjunktiv „würden" noch gewisse Vorbehalte, so wurden solche in der Folgezeit — insbesondere von Fernerstehenden — bald übersehen. Wieweit heute mit einer fiktiven Gliederung der Würmeiszeit in die drei Kaltphasen W I, W II und W III als einer feststehenden Tatsache gerechnet wird, zeigt der Umstand, daß sowohl NILSSON (1949) in Ostafrika wie DEEVEY (1949) in Nordamerika — um nur zwei räumlich weit getrennte Arbeiten aus dem letzten Jahr zu nennen — sie als Grundgerüst der letzteiszeitlichen Klimafolge verwenden. Dies führt z. B. bei DEEVEY dazu, daß das Warthestadium als W I bezeichnet und dementsprechend das Warthe-Weichsel- (= Riß-Würm) Interglazial in die Würmeiszeit verlegt und als „Aurignacien-Intervall" bezeichnet wird. Diese Beispiele lassen sich beliebig vermehren und zeigen, wie bitter nötig hier eine endgültige Klärung ist.

Fließerde mit raschem scharfem Übergang ohne die Einschaltung einer vermittelnden Wechsellagerungszone — aber dennoch konkordant — unmittelbar von einem zunächst horizontal geschichteten und dann oben immer reineren, senkrecht geklüfteten Löß überlagert wird (GAERTNER 1950). In diesen Fällen wird dann die zeitliche Abfolge vom solifluidalen zum äolischen Sediment besonders deutlich. Daß hangender Löß und basale Fließerde dabei aus derselben Eiszeit stammen, geht einerseits aus der meist vorhandenen Wechsellagerungszone und andererseits auch daraus hervor, daß wir in keinem dieser Profile jemals eine Verwitterungsdecke oder sonstige Anzeichen einer Ablagerungsdiskordanz zwischen beiden Schichten fanden.

Diese Unterlagerung des Löß durch Fließerde ist aber nicht nur auf den Bereich der oberen Lößgrenze beschränkt, sondern auch in *tieferen Lagen überall vorhanden*. Auch dort bestand somit die erste Antwort der Formbildungsprozesse auf das Eiszeitklima in einer *solifluidalen Abtragung*; erst nach einiger Zeit erfolgte der Umschlag zur *äolischen Sedimentation*. Dies wird besonders in den tiefsten Lagen der mitteleuropäischen Becken deutlich. Hier allein, in den auch heute noch trockensten und wärmsten Gebieten, sind unter dem „jüngeren Löß II" noch *ältere Löße* erhalten, die durch ihnen auflagernde fossile Bodendecken (Laimenzonen) von den jüngeren getrennt sind. An Stellen besonders mächtiger Lößsedimentation, so auf flachen Hängen oder Terrassen, im Lee sanft ansteigenden Erhebungen, finden wir dabei gelegentlich geschlossene, 10 und mehr Meter mächtige Lößprofile, die von unten bis oben nur aus einer Folge von reinem Löß mit zwischengeschalteten Laimenzonen ohne irgendwelche Einlagerung von gröberem Material bestehen[1]). Sowie wir uns aber im Bereich solcher mehrteiligen Lößprofile etwas steileren Hängen nähern, schalten sich zwischen die einzelnen Lößlaimenkomplexe gröbere Zwischenlagen von teils herabgeschwemmten, teils solifluidalem Fließerdematerial ein[2]). Aber auch dies geschieht, wie besonders die schönen, von SCHÖNHALS (1948, 1950) aus Böhmen, Hessen und dem Rheingau geschilderten Profile zeigen, wiederum *ohne Ausnahme* in der bereits geschilderten Weise; d. h. es liegen hier etwa eingeschaltete Fließerdedecken stets an der Basis jeder Lößlage, darüber folgt häufig eine Wechsellagerungszone, über dieser endlich der Löß und auf diesem entstand dann der Verwitterungsboden der nächsten Warmzeit. Erst über dieser Verwitterungsschicht liegt dann die basale Fließerde der nächsten Kaltzeit usw. *Nie* wurde beobachtet, daß eine solche Fließerdedecke nach oben erst einen Verwitterungshorizont und dann erst den Löß trägt, oder daß ein Löß einmal unmittelbar (d. h. ohne zwischengeschalteten Verwitterungshorizont) von einer aus derselben Kaltzeit stammenden Fließerde *über*lagert worden wäre[3]. Soweit vielmehr Schichten dieser Art wechsellagern, beginnt auch hier jede Kaltzeit regelmäßig mit einer Fließerde und endet mit einem Löß!

Hier ist eine *großzügige Gesetzmäßigkeit* erkennbar! Wenn innerhalb jeder Kaltzeit in allen tieferen Lagen Mitteleuropas ein so völliger Umschwung der Formbildungsprozesse stattfand, so muß sich auch ein entsprechend scharfer und offenbar immer sehr gleichartiger *Klimawandel* im Laufe jeder Kaltzeit vollzogen haben[4]). Für die weit verbreiteten Spuren der Würmeiszeit ist dies besonders klar erkennbar. Man kann diese daher klimatisch zunächst in *zwei große Hauptphasen* einteilen, die wir als *frühglaziale Fließerdezeit* und *hochglaziale Lößzeit* bezeichnen wollen. In der frühglazialen Fließerdezeit herrschte ein *feuchteres* und vermutlich auch sommerkühles, auf jeden Fall aber *kaltozeanisch* getöntes Klima — nicht unähnlich dem heutigen ozeanischen Tundrenklima Islands oder Lapplands —, in dem das Bodenfließen auch die tieferen Beckenlagen Mitteleuropas weithin beherrschte und die Lößablagerung noch auf ganz wenige, besonders trockene Vorzugsstandorte beschränkt war (vergleichbar etwa denen des heutigen Moldlößes in Island). Der Wandel zu den typisch *hocheiszeitlichen* Verhältnissen, wie wir sie unlängst darzustellen suchten (BÜDEL 1949a), trat dann erst in der folgenden *Lößzeit* ein. Jetzt herrschte in Mitteleuropa ein viel *trockeneres*, kaltkontinentales Klima. Die Bodenbewegungen wurden durch die größere Sommertrockenheit (und vermutlich auch durch eine infolge höherer Sommerwärme nicht nur mehr steppenartige, sondern auch *dichtere* Tundrenvegetation) gehemmt und blieben nunmehr auf die rauhere, stets vegetationsarme Frostschuttzone beschränkt. In der Tundrenregion selbst, d. h. den südlicheren und tieferen Lagen Mitteleuropas gelangte nunmehr die Lößsedimentation fast ausschließlich zur Herrschaft und ihre weithin geschlossenen Decken erreichten erst jetzt ihre bereits erwähnte eiszeitliche Höhen- und Polargrenze. Diese trockene, nach ihrem Pflanzen- und Tierbestand stark steppenartige, typisch eiszeitliche „Lößtundra", zu der es in den heutigen Polarzonen der Erde kein Analogon gibt, ist also erst in der zweiten Phase der Würmeiszeit an die Stelle ganz anderer frühglazialer Klimazustände getreten, und ein ähnlicher Umschwung muß sich nach den genannten Profilen auch schon im Lauf früherer Eiszeiten vollzogen haben[5]. Die erste, feuchtkalte Periode des

[1]) Das mächtigste solcher Lößlager auf deutschem Boden ist wohl die 15 m mächtige Lößwand der Ziegelei Böckingen bei Heilbronn. In der Wachau kommen bereits Lößmächtigkeiten von über 20 m, in Ungarn und der Ukraine von 50 m vor, während in China mehrere 100 m erreicht werden.

[2]) Der weite Wanderweg solcher Fließerden ist dabei oft durch die Anreicherung harter, ortsfremder Gesteine von bis zu 4 km weit entfernten höheren Hangteilen in ihnen erkennbar (vgl. BÜDEL 1937).

[3]) Mindestens war dies letztere nie in *vollständig erhaltenen* Profilen zu sehen! Es gibt natürlich auch Fälle, wo die jüngere Fließerde von der unter ihr lagernden älteren Lößdecke die Laimenzone abgetragen hat. In solchen Fällen ist aber dann an Stelle der verschwundenen Laimenzone eine *Abtragungsdiskordanz* zwischen älterem Löß und jüngerer Fließerde vorhanden.

[4]) Die Schroffheit dieses Umschwunges wird dort besonders deutlich, wo offenbar schon nach der Bildung auch der ersten dünnen, meist noch aus Schwemmlöß bestehenden Lößdecke über der Fließerde *deren Abwärtsbewegung erloschen war*, d. h. wo auch die tiefsten Lößlagen nicht mehr in die Wälzbewegung der Fließerde einbezogen sind. Daß die Fließerde dann auch weiter während der ganzen Sedimentation der höheren Lößauflage in Ruhe an Ort und Stelle verblieb, geht daraus hervor, daß unter dem Löß sehr häufig lößerfüllte Eiskeile ungestört in die basale Fließerde eingreifen. Wäre die Fließerde unter dem Löß noch weitergewandert, so hätten sich diese mächtigen, regelmäßigen Eiskeile in ihr nicht ausbilden können.

[5]) Eine Erklärung der hier offenbar zutage tretenden Gesetzmäßigkeit des eiszeitlichen Klimaablaufes möchten wir in folgenden Umständen erblicken. Am Beginn jeder Kaltzeit erfolgte zunächst der primäre Abkühlungsvorgang. Er brachte gerade dem südlichen Mitteleuropa neben dem starken Temperaturrückgang zunächst nur eine mäßige Abschwächung der Zirkulation und ein mäßiges Trockenerwerden des Klimas, wie es sich in der zunächst bescheidenen Lößbildung in der früglazialen Fließerdezeit andeutet. Dann aber wich nach einigen Jahrzehntausenden mit dem langsamen Anwachsen der großen Inlandeismassen der sinkende Meeresspiegel immer weiter von Mitteleuropa westwärts zurück. Vor allem fehlten jetzt — nach Trockenlegung der südlichen Nordsee und der Entwicklung eines hohen Eisschildes an Stelle von Kattegat, Belt und Ostsee — die

Frühglazials wäre dann die Zeit des Wachstums der großen Gletscher, die zweite, trockenere, die ihres Hochstandes (Hochglazial), an die sich dann schließlich eine dritte: das wieder feuchtere, aber zugleich schon wesentlich wärmere Spätglazial, d. h. die bereits pollenanalytisch erfaßbare Abschmelzperiode der Gletscher anschließt.

Wie verhalten sich nun diese Phasen zu den Bildungsperioden der *nichtglazigenen Flußterrassen*? Gegenüber den glazigenen Schotterfluren, deren Anzahl und Höhenlage ja von den Schwankungen des Eisrandes abhängt, stellen diese ein viel unmittelbareres Abbild der eiszeitlichen Klimaentwicklung dar. Nach den Untersuchungen von MENSCHING (1950) im Niedersächsischen Berg- und Hügelland (die ich — außerhalb der Schutt- und gefällsreichen Hoch- und Mittelgebirgsflüsse mit ihren stärkeren seitherigen Umlagerungen — auch in vielen anderen Teilen Mitteleuropas bestätigt fand) sind hier überall *zwei* der Würmeiszeit zugehörige Niederterrassen vorhanden. Die ältere und breitere, meist etwa 5 bis 10 m über dem heutigen Fluß gelegene „Obere Niederterrasse" besteht noch ganz aus Schotter und wird auch von den höchsten Hochwassern nur stellenweise erreicht. Die jüngere und schmälere, nur 1 bis 3 m über dem Flußspiegel gelegene „Untere Niederterrasse" wird dagegen noch regelmäßig vom Hochwasser überflutet und trägt so über ihrem basalen eiszeitlichen (gewöhnlich nur in unmittelbarer Flußnähe rezent umgelagerten) Schotterkörper gewöhnlich noch eine Schicht holozänen, großenteils sogar erst jungholozänen Auelehms[1]. Etwa 10 bis 12 m über der Oberen Niederterrasse liegen die Reste der tiefsten Mittelterrasse, deren rißeiszeitliches Alter an der Leine und Weser durch Verknüpfung mit Moränen nachgewiesen werden konnte; im Gegensatz zu der Niederterrasse ist sie lößbedeckt und stark durch Dellen zerschnitten.

Die Stellung der Niederterrassen in unserer klimatischen Phasenfolge wird zunächst dadurch bestimmt, daß auch die obere *stets lößfrei* ist. Sie kann daher nicht älter sein als die Lößzeit und somit keinesfalls in die frühglaziale Fließerdezeit zurückverlegt werden. Vielmehr muß ihre Ausbildung entweder während oder nach der hochglazialen Lößzeit erfolgt sein. Bei ihrer ansehnlichen Breite müssen wir sie jedoch den extremsten eiszeitlichen Klimazuständen zuordnen; sie entstammt daher wahrscheinlich der hochglazialen Lößzeit selbst und war offenbar das Hauptreservoir, aus dem damals der Löß auf die nächstältere Mittelterrasse aufgeweht wurde. Für ihr hocheiszeitliches Alter spricht ferner, daß die für den damaligen Klimaformenschatz typischen Trockentäler (Dellen), die die Mittelterrasse zerschneiden, sämtlich auf diese obere Niederterrasse auslaufen und nie unter deren Niveau eingetieft sind. Offenbar haben also nach ihrer Außerkraftsetzung auch die hochglazialen Klimazustände nicht mehr angedauert.

Dieser letztere Umstand wirft aber auch schon ein Licht auf das Alter der nächsttieferen unteren Niederterrasse. Sie ist von dem hocheiszeitlichen Klimastand, dem die breite Ausbildung der oberen Niederterrasse, die Lößsedimentation und die Ausgestaltung der Dellen angehören, bereits deutlich durch eine klimatisch bedingte Erosionsphase abgesetzt: ein deutlicher kleiner Steilrand trennt sie von der oberen Niederterrasse, und von ihr ging sicher keine Lößbildung mehr aus noch wurde von ihr aus die obere Niederterrasse durch Dellen zertalt. Andererseits deutet ihre immer noch ansehnliche Breite, das (im Vergleich zum jungholozänen Auelehm) recht grobe Korn ihrer Basisschotter und ihr einheitlich gewölbtes Querprofil (BÜDEL 1944) doch auf ein gegenüber dem heutigen noch wesentlich leistungsfähigeres Flußregime zur Zeit ihrer Entstehung hin. Alle diese Züge versetzen sie eindeutig in eine *spätglaziale* Periode und hier wiederum am ehesten in den pollenanalytisch nachgewiesenen Kälterückfall der jüngeren Tundrenzeit, in dem nach der ersten Wiederbewaldung im Alleröd-Interstadial für kurze Zeit nochmals ein Tundrenklima mit einem letzten Abglanz eiszeitlicher Zustände im größten Teil Mitteleuropas einzog.

Es ergibt sich somit: die ehemals gletscherfreien Flüsse Mitteleuropas zeigen zwei Niederterrassen: die obere hochglaziale ungefähr gleich alt, die untere spätglaziale sicher jünger als der jüngste Löß des geschlossenen mitteleuropäischen Lößgebietes. Sollten sich nun irgendwo noch sicher würmeiszeitliche ältere Lößdecken nachweisen lassen, so haben diese mit den durch die Terrassen dargestellten hoch- und spätglazialen Klimaphasen nichts zu tun, sondern wären vor diese Phasen zu stellen und zwar *ohne* zugehörige Terrassenniveaus. Ebensowenig entspricht der frühglazialen Fließerdezeit eine eigene Niederterrasse, denn zwischen der oberen Niederterrasse und der nur 10 bis 12 m höher gelegenen jüngsten (rißeiszeitlichen) Mittelterrasse ist nirgends die Spur eines Zwischenniveaus erhalten. Daraus ist zu schließen, daß die frühglaziale Klimaentwicklung bis zu dem durch die Lößzeit und die obere Niederterrasse repräsentierten Hochstand im wesentlichen kontinuierlich und ohne die Einschaltung größerer Interstadiale erfolgte, wie dies auch dem konkordanten Übergang von basaler Fließerde und hangendem Löß in den oben geschilderten Profilen entspricht.

Unsere nächste Aufgabe ist es, auch das Verhältnis der Fließerde- und insbesondere der hochglazialen Lößphase zu den *würmeiszeitlichen Gletscherständen*, den Moränen und den fluvioglazialen Terrassen zu prüfen. Zur Lösung dieser Frage müssen wir uns zunächst über Zahl und Abfolge dieser Stände selbst Klarheit verschaffen.

Im Gegensatz zu den seit PENCK und BRÜCKNER (1909) lange Zeit als gleichwertig angenommenen drei hochwürmeiszeitlichen Eisrandlagen sind nach den neuen Arbeiten WEIDENBACHs (1937) und anderen Autoren im Rheingletschergebiet sowie nach meinen noch unveröffentlichten Ergebnissen im Illergletschergebiet (BÜDEL 1950) die Jungendmoränen nur in zwei

natürlichen Leitlinien für das Vordringen atlantischer Minima in den Kontinent, die jetzt noch stärker als vorher den Weg über die Biskaya und das Mittelmeer nehmen mußten (vgl. Fußnote 3, S. 440). Endlich müssen nun nach KLUTE (1949) nunmehr auch die gelegentlich von N (NNW bis NO) nach Mitteleuropa gelangenden (heute meist „maritimen") Polarluftmassen als Fallwinde vom Inlandeis her wo nicht warm- so doch *trocken*-föhnartigen Charakter angenommen haben. Auf diese Weise wurde erst nach dem Höhepunkt der Eiszeit durch — vornehmlich indirekte — Wirkungen des Landeiswachstums die eiszeitliche Kontinentalität Mitteleuropas bis zum Bild der Lößtundra verschärft.

[1]) Wie MENSCHING (1948, 1950) für Niedersachsen nachweisen konnte, sind die geschlossenen Auelehmdecken über den spätglazialen „Unteren Niederterrassen" unserer Talsohlen nicht in der Nacheiszeit schlechtweg, sondern erst seit der Bronzezeit unter dem Einfluß der menschlichen Kultur entstanden. Waldrodung und Ackerbau erhöhten den Abflußfaktor und steigerten damit sowohl Hangabspülung wie Hochwasserwirkungen.

ihrerseits mehrphasige Stadien gegliedert: ein äußeres älteres, das dem eigentlichen Gletscherhochstand (etwa der Brandenburger und Frankfurter Phase in Norddeutschland) und ein inneres jüngeres, das einem schon etwas zurückliegenden Stand (etwa der Pommerschen Phase Norddeutschlands) entspricht[1]).

Die Terrassen aller dieser Stufen, auch diejenigen des Eishochstandes, sind nun gleichfalls stets lößfrei![2]). Das bedeutet aber, daß der gesamte Rückzug der Gletscher, auch schon der früheste vom ersten zum zweiten Hauptstadium, sich erst nach der Lößzeit vollzogen hat oder, mit anderen Worten, daß die Lößzeit spätestens im Augenblick des ersten Eisrückzuges vom äußersten Moränenstand bereits beendet war. Da der Würmlöß nun zweifellos zu wesentlichen Teilen aus den riesigen Schotterfluren des Eishochstandes selbst ausgeweht wurde, muß man auch hier die Lößbildungszeit und den Hochstand der Gletscher im wesentlichen als gleichaltrig betrachten und beide Erscheinungen (zusammen mit der nichtglazigenen oberen Niederterrasse des eisfreien Gebietes) in das eigentliche Hochglazial einordnen. Eine durch das vielfach vermutete Vorhandensein älterer Würmlöße etwa sich ergebende Phasengliederung innerhalb der würmeiszeitlichen Lößfolge hat jedenfalls auch mit den Stadien der würmeiszeitlichen Moränen und glazigenen Schotterphasen nichts zu tun, sondern wäre in etwaige frühere Abschnitte der Würmeiszeit einzuordnen. Dieses Ergebnis ist von besonderer Wichtigkeit: denn selbst unter der Voraussetzung des Vorhandenseins dreier Würmlöße haben diese dann *sicher nichts* mit den drei — bzw. zwei — Würmrückzugsstadien der Brandenburg-Frankfurter und Pommerschen Phase zu tun, mit denen sie seit der mißverstandenen Darstellung SOERGELs bis heute in der Literatur immer wieder gleichgestellt wurden.

Können nun jene älteren Würmlöße — ihre vielbehauptete Existenz einmal als reell vorausgesetzt — statt dessen vielleicht mit älteren, dem eigentlichen Eishochstand schon vorangehenden Moränenstadien (Vorrückungsphasen) parallelisiert werden? Um diese Frage zu klären, war eine genaue Untersuchung sowohl jener vielberühmten Vorrückungsphasen als auch der in die Würmeiszeit gestellten älteren Lößfolgen notwendig.

Wir beginnen mit einer kurzen Diskussion der Würmvorrückungsphase. Hier stehen sich seit längerer Zeit zwei Anschauungen schroff gegenüber. Die eine geht davon aus, daß in den heutigen Moränengebieten nur Rückzugsphasen sichtbar sind, die von einer Reihe älterer Beobachter und zuletzt von TROLL (1924, 1936) in drei Hauptstadien gegliedert wurden, während wir uns oben — unter Zusammenfassung der beiden äußeren Stadien — für die Anerkennung von nur zwei Hauptphasen entschieden haben. Das äußere von diesen zerfällt seinerseits ziemlich regelmäßig in drei Unterphasen (die etwa der Ayinger, Kirchseeoner und Ebersberger Phase TROLLs im Inngletschergebiet entsprechen), und auch das innere (das dem Ölkofener Stadium TROLLs entspricht) ist, wenn auch in weniger gleichmäßiger Folge, überall mehrgliedrig. Für dieses Stadium ist besonders seine Lage kennzeichnend: im Gegensatz zu dem geschlossenen Verlauf der äußeren Endmoränen schmiegt es sich unter weitgehendem Zerfall in einzelne Teile oben bereits den Innenseiten der Zweigbecken an und liegt damit hier in einer Situation, in der man sich schon aus rein orographischen Gründen auch für den wachsenden Gletscher ein zeitweiliges Halt oder mindestens eine Phase langsamen Vorrückens bis zur Überflutung dieser Zweigbecken vorstellen kann. In der Tat haben nun EBERL (1930) und KNAUER (1935, 1937) gerade in diesem Bereich an verschiedenen alpinen Vorlandgletschern *ältere*, ohne Zweifel von dem späteren Hauptvorstoß des Gletschers noch überfahrene Vorrückungsmoränen entdeckt. In der Auswertung dieser zweifellos wichtigen Entdeckung ging aber nur KNAUER in zwei Punkten entschieden zu weit. Einmal erklärte er nun *alle* Moränen des hier gelegenen „Ölkofener Stadiums" für Vorrückungsbildungen. Davon kann aber keine Rede sein: die Hauptmasse der hier gelegenen Wälle gehört zweifellos dem schon erwähnten zweiten Rückzugsstadium an. Sowohl am Rhein- wie am Illergletscher gehen ganz frische und zum Teil sogar recht breite, scharf in die Moränen und Schotterfelder der äußeren Stadien eingeschnittene jüngere Schotterstränge von diesen Wällen aus, und auch im Inngebiet stellen die von TROLL (1924) beschriebenen Terrassen des Leizach-Gars-Talzuges und die Ebene von Steppach zweiffellos jüngere, von den Rückzugsmoränen im Bereich des Ölkofener Stadiums ausgehende und nicht überfahrene Schotterkörper dar, von den wunderbaren Sandern, die sich in Norddeutschland an das wohl entsprechende Pommersche Stadium anschließen (es befindet sich darunter in der Tucheler Heide die größte Sanderfläche Mitteleuropas überhaupt!), ganz zu schweigen. Man darf daher diese Streitfrage bis hierher mit der Feststellung schließen, daß TROLL und KNAUER beide recht behalten haben.

An sich bietet nun die KNAUERsche Entdeckung von Vorrückungsmoränen nichts grundsätzlich Überraschendes, denn es ist ja klar, daß der Gletscher auf seinem langen Vorrückungswege nicht nur Schotter (die seit langem bekannten „unteren Würmschotter"), sondern gelegentlich auch Moränen ablagern mußte, die er beim weiteren Vorschreiten überfuhr[3]). Die Frage gewinnt gerade auch für unser Problem erst dadurch ein besonderes Interesse, daß KNAUER in dieser „Vorrückungsphase" einen älteren, selbständigen Hochstand der Würmeiszeit erblickte, der von dem noch etwas weiter vorgestoßenen „zweiten", d. h. dem oben erwähnten endgültigen Eishochstand der Aying-Kirchseeon-Ebersberger Phase durch ein bedeutendes Interstadial mit einem deutlichen Gletscherrückzug getrennt sei. Trifft dies zu, so könnte jener erste Würmgletscher-Hochstand mit SOERGELs „jüngerem Löß I", der zweite mit seinem „jüngerem Löß II" und das zwischenliegende warme Interstadial mit

[1]) Vorgreifend sei dabei schon hier betont, daß zweifellos die *Hauptmasse* der im Bereich dieser inneren Kränze vorhandenen Moränen in Nord- wie in Süddeutschland einem echten jungen Rückzugstadium mit allen Zügen eines solchen angehört. Wir betrachten dabei zunächst bewußt nur die Phasen des großen *Eisrückzuges* und sehen von den im gleichen Raum vorhandenen überfahrenen Moränen des Untergrundes vorerst ab.

[2]) In Norddeutschland will dies allerdings nicht viel besagen, da hier die ganzen Jungmoränen und ihre Sander ohnedies außerhalb des Klimabereiches liegen, in dem zur Würmeiszeit Lößbildung stattfand. Um so auffälliger ziehen sich die süddeutschen Würmmoränen und ihre Schotterstränge überall durch die das ältere Land weithin verschleiernden Lößdecken des Alpenvorlandes als streng lößfreie Zonen hindurch.

[3]) Meist zeigen zudem jene überfahrenen Moränen den Typus von relativ gut geschichteten Übergangskegeln („Moränenschotter" nach KNAUER).

der — allerdings oft über 1 m mächtigen — Laimenzone zwischen beiden parallelisiert werden, so daß wir also doch mit einer *zweigipfligen* Würmkaltzeit und nicht nur mit *einer* hochglazialen Lößzeit zu rechnen hätten. Sind die Voraussetzungen für eine solche Annahme erfüllt?

Wären jene mächtigen Verwitterungsdecken (Bodenbildungen, Laimenzonen) zwischen dem jüngeren Löß I und Löß II wirklich von einem solchen würmeiszeitlichen Interstadial erzeugt worden, so müßten auch die vor dieses angenommene Interstadial verlegten Moränen der KNAUERschen Vorrückungsphase ähnlich dicke Verwitterungsböden tragen[1]). Ein Nachweis hierfür ist bisher trotz eifrigen Suchens weder mir selbst noch vielen anderen (wie H. GRAUL, F. KLUTE, G. WAGNER, F. WEIDENBACH und einer Reihe südwestdeutscher Landesgeologen) gelungen. Nirgends deutet irgendein unverkennbares Anzeichen: etwa ein deutlicher zwischengeschalteter Verwitterungshorizont, eine Schieferkohle, ein Seeton (etwa auch nur ein Bänderton) oder eine sonstige interstadiale Ablagerung darauf hin, daß nach Ablagerung dieser unteren Würmmoräne der weitere Vorstoß von einem eingeschalteten merklichen Rückgang der Gletscherfront mit einer Phase wärmeren Klimas, kurz von einem bedeutenderen Interstadial unterbrochen worden wäre.

Man könnte nun einwenden, daß die Spuren eines solchen älteren Würminterstadials im Moränengelände durch den Hauptvorstoß des Eises vielleicht vernichtet worden seien. Ihre restlose Zerstörung ist aber trotzdem nicht wahrscheinlich, besonders da ja nach KNAUER jene älteren Moränen vielfach noch recht gut erhalten sind. Auf jeden Fall müßte aber einem solchen selbständigen ersten Gletschervorstoß ein *eigenständiges*, höhenmäßig etwa zwischen der jüngeren Hochterrasse und der späteren Hauptniederterrasse sich einstufendes System von *Schotterterrassen* entsprechen und diese jedenfalls könnten im *Gletschervorland* von den späteren Hauptwürmterrassen unter keinen Umständen völlig beseitigt worden sein.

An diesem Punkt wird nun für uns die Arbeit von SCHÄFER (1940) im Illergebiet bedeutungsvoll. Er glaubte in der inzwischen berühmt gewordenen „Fellheimer Terrasse" in der Tat eine lößbedeckte ältere Würmterrasse nachgewiesen zu haben, die nicht mit den äußersten Würmmoränen zu verknüpfen sei. Sie ist vielfach als Äquivalent, ja als besonders schlagender Beweis für die Selbständigkeit des von EBERL und KNAUER beschriebenen älteren Würmstadiums aufgefaßt worden, und wenn SCHÄFER selbst auch ausdrücklich keine solche Verknüpfung nachwies oder annahm, so sah er doch in der „Fellheimer Terrasse" an sich die Spur eines älteren Würmstadials.

Eine Neuuntersuchung der Fellheimer Terrasse und der Würmstadien des Illergletschers (BÜDEL 1950) bestätigte insoweit die Ergebnisse SCHÄFERs, als diese Terrasse in der Tat *etwas* älter ist als die übrigen Haupt-Niederterrassenstränge des Illergletschers (Memminger-, Legauer-, Erolzheimer-Feld) und daß sie durch eine frühe Flußanzapfung von der heutigen Iller her außer Funktion gesetzt worden ist. Aber die Bildung und die Anzapfung dieses Schotterbettes erfolgten nicht *vor*, sondern *während* des Hochstandes der Würmvereisung. Die Terrasse ist das Äquivalent einer äußersten Hochstands-*Vorphase* der Würmmoränen (entsprechend der Ayinger Stufe im Inngebiet), deren Moränenreste sich bei Ziegelberg deutlich von denen der etwas zurückliegenden Hochstandshauptphase (entsprechend der Kirchseeoner Stufe im Inngebiet) trennen lassen. Die Übergangskegel dieser Hauptphase (die dann auf die Hauptniederterrasse des Memminger Feldes auslaufen) schneiden die Reste dieser Vorphase in scharfen Kerben an und haben sie schon weitgehend vernichtet, so daß sie bis jetzt noch nicht als Vertreter eines eigenen Vorstadiums erkannt wurden. Entsprechend dieser Zugehörigkeit zu dem äußersten letzten Würmvorstoß trägt die Fellheimer Terrasse auch in ihrer ganzen, fast 50 km langen Erstreckung *keinen Löß*, sondern nur eine völlig kalkfreie kryoturbate Lehmdecke von im Mittel 0,2 bis 0,8 m Mächtigkeit, die vollkommen derjenigen der übrigen hocheiszeitlichen Würmschotter dieses Gebietes entspricht[2]). In Übereinstimmung mit diesem Ergebnis konnten auch sonst trotz einer durch viele Jahre fortgesetzten systematischen Suche und Nachfrage im ganzen Umkreis Mitteleuropas echte lößbedeckte Niederterrassen *nicht* aufgefunden werden.

Auf Grund dieser Befunde erscheint es mir nicht möglich, einen älteren, selbständigen Würmhochstand

[1]) Auf diesen Gedanken hat mich F. KLUTE bei einer gemeinsamen Diskussion über diese Frage im Sommer 1949 hingewiesen.

[2]) Es ist dabei auffällig und bei gemeinsamen Begehungen insbesondere auch von H. GRAUL festgestellt worden, daß die alpinen Haupt-Niederterrassenschotter ganz allgemein wenn auch keinen Löß so doch sehr viel mächtigere Kryoturbationsdecken tragen als die norddeutschen. Der Grund liegt wohl darin, daß die kleineren Alpengletscher auf den Klimaumschwung beim Beginn des Spätglazials schneller reagierten und die dortigen Niederterrassen somit schon in einem Augenblick außer Funktion traten, wo die eiszeitlichen Klimazustände in Form der Kryoturbation noch recht stark nachwirkte (unter der Kryoturbationsdecke des Fellheimer Feldes ist übrigens an einer Stelle — südlich Pleß — noch eine dünne Linse von kalkhaltigem Flugsand erhalten geblieben). Im Gegensatz dazu hat das große nordische Inlandeis den Klimaumschwung zu Beginn des Spätglazials offenbar viel länger überdauert: seine „Phasenverschiebung" war größer; infolgedessen wurden die ihm zugehörigen Moränen und Terrassen *später* außer Funktion gesetzt und zeigen — außer der spätglazialen Fortbildung der Dünen — eine geringere Beeinflussung durch Kryoturbations- und sonstige Periglazialvorgänge. Dabei zeigen sowohl die Dünen Norddeutschlands wie das isolierte Flugsandvorkommen auf der Fellheimer Terrasse an, daß im Spätglazial *Windwirkungen im allgemeinen* noch sehr stark nachwirkten, aber (und darauf kommt es an!) eben *gerade nicht mehr* in der streng an das exzessiv kalt-trockene Klima des Hochglazials gebundenen Form der Lößbildung! Die Herrschaft dieses Klimas war demnach auch im Alpenvorland schon zur Zeit des allerersten Eisrückzuges (gekennzeichnet durch das Außerkraftsetzen der Fellheimer Terrasse) beendet.

Nur in ganz bescheidenem Maß ist im Verlauf des Spätglazials während des Kälterückfalls der jüngeren Tundrenzeit die Lößbildung wieder aufgelebt (während der Waldphase des Alleröd-Interstadials setzte sie wohl völlig aus). Bezeichnenderweise liegen aber die wenigen, bisher sicher als spätglazial nachgewiesenen Lößfunde *nicht* im Bereich des geschlossenen mitteleuropäischen Lößgebietes, sondern in höheren Breiten, in die damals vorübergehend nochmal ein rauheres Tundrenklima einzog. SCHÖNHALS hat solche punktförmigen spätglazialen Lößvorkommen an einzelnen Stellen der Mark Brandenburg, auf Rügen, in Lettland und Estland gefunden. Es ist natürlich nicht ausgeschlossen, daß künftig auch im Südteil Mitteleuropas (südlich der allgemeinen Lößgrenze) noch einmal vereinzelte spätglaziale Lößfleckchen an besonders günstigen Stellen — etwa den trockensten Teilen der Oberrheinebene — entdeckt werden. In größerem Umfang kann hier aber in der jüngeren Tundrenzeit die Lößbildung nicht wieder aufgelebt sein (oder — nach POSER, 1944 — gar vom Hoch- zum Spätglazial fortgedauert haben). Einmal wird die weit überwiegende Hauptmasse des mitteleuropäischen Lößes im Norden an einer scharfen Linie begrenzt, die nur als eine *hocheiszeitliche* Klimagrenze verstanden werden kann (BÜDEL, 1949a, b). Im Bereich des geschlossenen mitteleuropäischen Lößgebietes wurden ferner — s. oben — bisher *alle* hochwürmeiszeitlichen Ablagerungen als lößfrei befunden (was bei stärkerer spätglazialer Lößbildung natürlich nicht der Fall sein könnte). Endlich macht die andersartige Verbreitung und die isolierte Lage der wenigen spätglazialen Lößvorkommen besonders deutlich, daß es sich hier nur um einzelne Standorte mit besonderer lokaler Begünstigung handelte, während die Voraussetzungen zu einer der hocheiszeitlichen vergleichbaren allgemeinen Lößbildung damals längst nicht mehr gegeben waren.

und damit eine Zweigipfelung der Würmeiszeit anzunehmen. So wenig wie bei den nichtglazigenen Terrassen findet sich daher auch in den würmeiszeitlichen Gletschergebieten irgend ein Anhaltspunkt für das Vorhandensein einer echten, interstadialen Unterbrechung des Eiszeitklimas vor dem Ende der hochglazialen Lößzeit[1]).

In denkbar schroffem Gegensatz hierzu steht nun die markante klimabedingte Phasengliederung innerhalb der mehrteiligen *Lößfolgen*, wie sie etwa von SOERGEL (1925), SCHÖNHALS (1948, 1950) und FREISING (1950) der Würmeiszeit zugeschrieben wurden. In den unverstümmelten, voll erhaltenen Profilen sind hier im Mittel rund 0,8 bis 1 m, oft aber auch über 1,50 m mächtige Verwitterungsdecken (Bodenbildungs-, Lehm- oder Laimenzonen) vorhanden, die hier die einzelnen Löße voneinander trennen. Der bodenkundlichen Struktur nach handelt es sich dabei durchwegs um *braune Waldböden* mit einem einteiligen oder um *degradierte Schwarzerden* mit einem zweiteiligen Bodenprofil (oben humusreiche Schwarzerde, unten brauner Waldboden[2]).

Böden der letzteren Art, d. h. degradierte Schwarzerden mit einer mittleren Mächtigkeit von 0,8 bis 1,5 m sind nun im nacheiszeitlichen Europa nur in der ukrainischen Steppe im äußersten Südosten des Erdteils zur Ausbildung gelangt. Zur Zeit der Entstehung dieser fossilen Böden muß also in Mitteleuropa ein ähnliches, d. h. also ein wesentlich *sommerwärmeres Klima als heute* geherrscht haben. Dies war nur in einem vollen, warmen Interglazial, niemals im bloßen Interstadialen, d. h. kleinen Wärmeschwankungen innerhalb einer Kaltzeit möglich, die etwa von den großen Landeismassen nur mit geringen Arealeinbußen überdauert werden konnten. In einer Zeit, in der sich nicht nur in Rheinhessen und Südmähren, sondern auch am Südfuß des Riesengebirges und im Neckarland bei Heilbronn und Stuttgart Schwarzerden von der Mächtigkeit des ukrainischen Tschernosjom ausbilden konnten, müssen die Gletscher der Alpen und Skandinaviens noch hinter ihrem heutigen Stand in die höchsten Gebirgstäler zurückgewichen sein[3]).

Da wir nun nach FREISING (1950, vgl. Fußnote 2, S. 447) in allen Bodenbildungszonen innerhalb unserer Lößfolgen solche Schwarzerdeprofile auftreten, müssen diese auch *sämtlich* echten Warmzeiten entsprechen.

Es braucht nach dem oben Gesagten nicht mehr betont zu werden, daß, wo schon nicht für kleinere Interstadiale, so erst recht nicht für Klimaschwankungen dieses Ausmaßes die *Sedimentfolgen aller übrigen Klimazeugen innerhalb der Würmeiszeit keinen Raum bieten*. So taucht die Frage auf, ob die durch die mehrteiligen Lößprofile repräsentierten Klimaschwankungen nicht älteren Stufen des Eiszeitalters, älteren Interglazialen zugeordnet werden müssen[4]).

[1]) Mit einem kurzen Hinweis sei noch der verschiedentlich vertretenen und besonders auch in der außerdeutschen urgeschichtlichen Literatur weit verbreiteten Ansicht gedacht, daß der Aurignac-Mensch während eines wärmeren Interstadials innerhalb der Löß-Hochwürmeiszeit nach Europa eingewandert sei. Diese Annahme, die in weiterer Verzerrung schließlich sogar dazu führte, den Aurignac-Menschen in das letzte (Warthe-Weichsel)-Interglazial einzuordnen (vgl. DEEVEY 1949, s. oben), geht auf die älteren Fundstätten von Achenheim (Elsaß) und Wallertheim (Rheinhessen) zurück (vgl. hierzu SCHMIDTGEN und W. WAGNER 1929, sowie W. WAGNER 1939). In Wallertheim ist die damals zur Altersbestimmung herangezogene Terrassenbeziehung sicher unzulässig und auch in Achenheim (das ich leider nicht besuchen konnte) nach der Literatur keineswegs zwingend. Im Gegensatz dazu liegen die reichen neueren Aurignac-Funde in Österreich (SICKENBERG 1949) und in Frankreich (WIEGERS 1928 und mündliche Mitteilungen) sämtlich *im jüngsten Löß selbst* und *nicht* in der nächsttieferen, darunter befindlichen Laimenzone. Der Aurignac-Mensch ist also mitten im kalt-trockenen Hochglazial selbst und nicht in einem warm-feuchten Interglazial oder Interstadial nach Europa eingewandert. In Frankreich fallen seine Funde (nach WIEGERS) sogar gerade mit dem am weitesten nach Süden reichenden Vorstoß des hocharktischen Moschusochsen zusammen.

[2]) Die meisten mehrgliedrigen Lößprofile Mitteleuropas sind dreiteilig, d. h. sie zeigen unter dem jüngeren Löß der Hochwürmeiszeit noch zwei begrabene ältere Löße, von denen jeder nach oben durch eine fossile Bodenbildung (Laimenzone) abgeschlossen wird. Nur sehr selten ist darunter in der Tiefe noch ein älterer *vierter* Löß mit überlagernder Bodenbildung erhalten. Ein vollgliedriges solches Lößprofil hat demnach folgenden Aufbau:

Holozäne Bodenbildung.

Hochwürm-Löß (jüngerer Löß II nach SOERGEL).

Göttweiger Bodenbildung (nach GÖTZINGER 1935, 1936 und FREISING 1950).

JR-Löß (jüngerer Löß I nach SOERGEL).

Kremser Bodenbildung (nach GÖTZINGER 1935, 1936 und FREISING 1950).

AR-Löß (älterer Löß nach SOERGEL).

Tiefste Bodenbildung (sehr selten erhalten, vgl. SCHÖNHALS 1948, 1950).

M-Löß (sehr selten erhalten, vgl. SCHÖNHALS 1948, 1950).

Die Altersdeutung dieser Löße war bisher sehr verschieden. SCHÖNHALS (1948, 1950) sieht in dem tiefsten M-Löß ein Äquivalent der Rißeiszeit, über dem dann noch drei verschiedene Würm-Löße folgen. SOERGEL (1925), GÖTZINGER (1935, 1936) und FREISING (1950) rechnen dagegen bereits den AR-Löß der Rißeiszeit und nur die zwei noch darüber folgenden Löße der Würmeiszeit zu, während ich selbst nur den obersten Löß der (Hoch-)Würmeiszeit zurechne (demnach JR = Jungriß-Löß, AR = Altriß-Löß, M = Mindel-Löß). Die Begründung meiner Gliederung wird weiter unten angedeutet. Der Hauptgrund für SCHÖNHALS' Auffassung besteht darin, daß er in Böhmen stets nur mit dem tiefsten M-Löß eine degradierte Schwarzerde, über den höheren Lößen dagegen nur Braunerdeprofile fand. Er schrieb daher die Schwarzerden dieser tiefsten Bodenbildung dem (als sehr warm gedachten) Riß-Würm-Interglazial, die Braunerden der höheren aber nur zwei (weniger warm gedachten) Würm-Interstadialen zu, die er mit der seit 1930 allgemein verbreiteten Dreigipfligkeit der Würmeiszeit als reell annahm. Durch einen sehr sorgsamen Vergleich von über 30 Lößprofilen im ganzen Neckarland und deren Verknüpfung mit den mährisch-niederösterreichischen Lößen wies aber nun FREISING (1950) einwandfrei nach, daß auch im Rahmen dieser höheren Bodenbildungen (der Kremser und Göttweiger Bodenbildung) sehr häufig degradierte Schwarzerden vorkommen, und ferner, daß es sich dann, wenn hier scheinbar nur braune Waldböden auftreten, in Wirklichkeit oft nur um *verstümmelte Profile* handelt, wo der obere (schwarze, humusreiche) Teil des Bodenprofils abgetragen wurde. Damit würde aber der von SCHÖNHALS betonte Unterschied zwischen schwarzerdezeugender interglazialer und braunerdezeugender interstadialer Bodenbildung hinfällig. Aber auch FREISINGS eigener Gliederung wird damit der Boden entzogen, denn wenn sowohl in der Kremser wie in der Göttweiger Warmphase ganz gleichartige und gleichmächtige Schwarzerdeprofile ausgebildet werden konnten, so besteht kein Anlaß, die ältere Phase einem Interglazial und die jüngere nur einem Interstadial zuzurechnen. Es muß aber betont werden, daß beide Forscher auch gar nicht in erster Linie eine gültige absolute Zeitgliederung dieser Lößfolgen schaffen wollten, für die sie sich vielmehr allgemein angewandter Einteilungsprinzipien bedienten, sondern daß es ihnen vornehmlich auf eine möglichst genaue Klärung der relativen Schichtfolge dieser Profile ankam. Hier haben beide hervorragende neue Ergebnisse erzielt, so SCHÖNHALS in der scharfen Unterscheidung von wirklichen Bodenbildungs- und bloßen Schwemmlehmzonen und FREISING dadurch, daß er durch die Unterscheidung stets gleichmäßig angeordneter dünner, nicht verlehmter Lagen von „Naßböden" innerhalb der Löße eine Methode gewann, um in weit voneinander entfernten und selbst verstümmelten Profilen denselben Lößhorizont mit Sicherheit wiederzuerkennen.

[3]) Wir haben außerdem schon früher (s. oben) betont, daß in diesen mehrgliedrigen Lößprofilen über der Bodendecke einer solchen Warmzeit meist nicht sofort der nächstjüngere Löß, sondern zunächst eine Fließerdedecke folgt, die dann erst nach oben in die nächsthöhere Lößdecke übergeht. Offenbar schloß sich daher auch an diese früheren Warmzeiten zunächst eine fließerdereiche frühglaziale Vorbereitungsphase an, bis dann mit dem allmählich erreichten Gletscherhochstand die Klimabedingungen der Lößsedimentation von neuem gegeben waren.

[4]) Eine solche Einstufung hat, wie oben schon angedeutet, in Wirklichkeit bereits SOERGEL (1919) durchgeführt. Neben seinem jüngeren Löß II, der dem allgemein verbreiteten jungen Hochwürm-Löß entspricht, unterscheidet er noch einen „jüngeren Löß I", den er mit den jüngeren Saalemoränen und dem Warthestadium gleichsetzt. Da SOERGEL diese Moränenstände damals noch zur letzten Eiszeit rechnete, mußte er auch seinen Löß I zu dieser zählen. Seitdem inzwischen das Alter der Saale- und Wartheeiszeit allgemein als rißeiszeitlich anerkannt wurde, besteht kein Grund mehr, nicht auch SOERGELS Löß I in die Rißeiszeit und dementsprechend die auf diesem liegende Göttweiger Bodenbildung in das Riß-Würm-Interglazial zu stellen.

Die Beziehungen der älteren Löße zu den älteren Eiszeitablagerungen liegen infolge einer *feineren Untergliederung der Rißeiszeit*, die in den letzten Jahren vornehmlich durch WEIDENBACH (1937) und GRAUL (1950a, b, c) in Süddeutschland durchgeführt wurde, klarer als bisher zutage. Hierbei wurde Übereinstimmung darüber erzielt, daß von den Hauptablagerungen der Rißeiszeit eine selbständige Serie jüngerer Moränen und Schotter als sog. „Jungriß"-Bildungen abzutrennen sind. Sie stehen der Hauptrißeiszeit in ähnlicher Weise gegenüber wie das etwas jüngere Warthestadium der Saaleeiszeit. Die sehr breiten und noch wenig von jungen Dellen und Trockentälchen zerfurchten Jungrißterrassen liegen dabei im Rheingletschergebiet und an der Donau nur wenig (im ganzen nur 10 bis 15 m) über dem höchsten Niederterrassenschotter, denen sie mit ihren frischen Formen sehr ähneln, sind aber im Gegensatz zu diesen weithin mit Löß bedeckt.

Wäre nun in der Würmeiszeit eine mehrfach unterbrochene Lößbildung erfolgt, so müßten auch auf diesen Jungrißterrassen mehrteilige Lößprofile liegen. Solche konnten aber bis jetzt dort nirgends nachgewiesen werden. Analog liegen auch die Verhältnisse bei der im Ober- und Mittelrheingebiet weit verbreiteten sog. *Talwegterrasse*. Diese ist nach ihrem Erhaltungszustand und ihrer statigraphischen Stellung wahrscheinlich ebenfalls ins Jungriß einzuordnen. Sie trägt nach SCHÖNHALS (1940) eine maximal bis zu 8 m mächtige Lößdecke, die aber niemals eine Gliederung durch zwischengelagerte fossile Bodenhorizonte zeigt. Mehrgliedrige Lößprofile finden sich vielmehr überall erst oberhalb der Talwegterrasse auf höheren Hängen und Terrassenfluren[1]). Die Einordnung ihrer einzelnen Horizonte in ältere Großabschnitte des Eiszeitalters (vgl. Fußnote 2, S. 447) bereitet auf Grund der Terrassengliederung am Rhein, wie sie zuletzt KLUTE und WILL (1934) und SCHÖNHALS (1950) durchgeführt haben, keine grundsätzlichen Schwierigkeiten; da sie bereits außerhalb unseres Themas liegt, sei sie hier nicht näher begründet[2]).

Abschließend sei noch darauf verwiesen, daß mit dem Wegfall echter Interstadiale und dem Nachweis der Eingipfligkeit des würmeiszeitlichen Klimaganges dieser auch keine Ähnlichkeit mehr mit dem hierher gerechneten Teil der Strahlungskurve von MILANKOVITCH zeigt (vgl. KLUTE 1929 u. a.). Daß es nicht möglich ist, etwa umgekehrt aus dieser Strahlungskurve auf die Klimaphasen der Würmeiszeit zu schließen, wie es doch zuweilen — mindestens unbewußt — geschehen sein dürfte, bedarf keiner Begründung. So neigen wir zu der Ansicht, daß auch andere, etwa künftig noch auswertbare Klimazeugen das Gewicht der hier gewonnenen Ergebnisse nicht einschränken werden. In den pleistozänen Moorprofilen des Mittelmeergebietes, wo auch während der Würmeiszeit bekanntlich der Wald ausdauerte, ist bis jetzt, soweit solche Profile überhaupt mit der Würmeiszeit parallelisiert werden konnten, auch nur eine *eingipflige* Kaltphase festgestellt worden (BLANC 1936, 1938, FIRBAS und ZANGHERI 1936, TONGIORGI 1938, LAUTENSACH 1942). Ebenso konnten aus dem idealen natürlichen Archiv, das die Tiefseesedimente für die Erd- und Klimageschichte darstellen, bisher keine Spuren gewonnen werden, die mehr als eine Großgliederung des Eiszeitalters bieten und somit eine Mehrphasigkeit der Würmeiszeit belegen könnten (mündliche Mitteilung von H. PETTERSON-Göteborg).

[1]) Daß dabei der Löß der Talwegterrasse tatsächlich dem *jüngsten Löß* der in höheren Lagen auftretenden mehrgliedrigen Lößprofile entspricht, ist hier besonders klar durch ein kleines *Aschenbändchen* nachweisbar, das im Gebiet zwischen Rheingau und Limburger Becken überall den jüngsten Löß kennzeichnet (mündliche Mitteilung von F. MICHELS und E. SCHÖNHALS).

[2]) Eine notwendige Voraussetzung für diese Gliederung ist allerdings die Annahme eines längeren vollen Interglazials zwischen der jüngeren und älteren Rißeiszeit. Eine solche Annahme erscheint jedoch beim heutigen Stand sowohl der süd- wie der norddeutschen Forschung durchaus berechtigt. In Norddeutschland muß man jedenfalls damit rechnen, daß das den Jungrißmoränen entsprechende Warthestadium nicht nur von der Weichsel-, sondern auch von der Saaleeiszeit durch ein volles Interglazial getrennt wird, in das ja vermutlich auch die Kieselgurlager der Lüneburger Heide einzuordnen sind. Im übrigen steht es ja auch von dem pollenanalytisch schon so weitgehend aufgehellten *vorletzten Interglazial* Norddeutschlands bis heute noch nicht fest, ob es zwischen Warthe- und Saale- oder zwischen Saale- und Elstereiszeit einzuordnen ist, oder ob nicht ein Teil der hierher gerechneten Profile in diese, der andere in jene Warmzeit gestellt werden muß.

Zusammenfassung.

1. Aus dem Verhältnis der Fließerde- und Lößablagerungen und der Verknüpfung dieser Erscheinungen mit den übrigen (nichtglazigenen und glazigenen) eiszeitlichen Klimazeugen auf dem Boden Mitteleuropas ergab sich eine Gliederung der Würmeiszeit in drei große Klimaphasen: die kalt-ozeanisch-getönte frühglaziale *Fließerdezeit* als die Zeit des Wachstums der großen Gletscher, die kalt-kontinentale, in Mitteleuropa erst die charakteristische, volleiszeitliche Verbindung von Tundren- und Steppenzügen bringende hochglaziale *Lößzeit*, die dem langen Hochstand der Gletscher entspricht, und endlich die wieder feuchtere und bereits wärmere *Spätglazialzeit*, in der sich das spätere Abschmelzen der Gletscher vollzog. Diese drei Hauptphasen sind durch scharfe Klimaumschwünge voneinander getrennt.

2. Da bereits beim allerersten Rückgang der großen norddeutschen, ja sogar schon der kleineren alpinen Gletscher die hocheiszeitliche Klimaphase der Lößzeit schon abgeschlossen war, müssen die Gletscher ihren äußersten Stand erst etwas *nach* dem entscheidenden Klimaumschwung vom Hoch- zum Spätglazial erreicht haben. Diese Phasenverschiebung der Vereisungs- gegen die Klimakurve war um so stärker, je größer die betreffende Landeismasse war (im nordischen größer als im alpinen Vereisungsgebiet).

3. Unter diesen Umständen stellen die heute sichtbaren Eisrandlagen der Gletscher, die sich in zwei große, in sich mehrteilige Stadien trennen lassen, nicht Spuren selbständiger hochglazialer Klimastadien, sondern nur die ersten kleinen, klimatisch wenig bedeutungsvollen *Rückzugsphasen* des endlich abschmelzenden Eises im ersten Drittel des Spätglazials (ältere Tundrenzeit) dar. Sie sind keinesfalls mit irgendwelchen Phasen der Lößbildung in Beziehung zu setzen, da diese ja mit ihrer entscheidenden Hauptmasse bereits vor ihrer Bildung abgeschlossen war.

4. Bedeutungsvoller als diese ersten Rückzugsphasen war die Klimaschwankung, die sich im weiteren Verlauf des Spätglazials im Anschluß an die hochglaziale Zeit vollzog. In der warmen Allerödzeit war der Wald über Mitteleuropa hinaus bereits bis Südengland, Südnorwegen und Mittelschweden vorgedrungen; der darauffolgende kurze Kälterückfall der

jüngeren Tundrenzeit (etwa 9000 bis 7800 v. Chr.) ließ mit einer Wiederkehr letzter eiszeitlicher Klimaanklänge den Wald noch einmal fast ganz aus Mitteleuropa zurückweichen. Das Alleröd-Interstadial ist das einzige echte Interstadial, das wir im Rahmen der Würmeiszeit nachweisen können.

5. Insbesondere liegen *innerhalb der hochglazialen Lößzeit* keine Anzeichen für eine auch nur annähernd so starke Klimaschwankung vor. Weder die „Vorrückungsphase" von EBERL und KNAUER noch die einer solchen älteren Würmphase zugerechnete Fellheimer Terrasse des Illergebietes erwiesen sich bei neuerlicher Nachprüfung als Zeugen einer solchen. Ebenso wenig kann die Einwanderung des Aurignac-Menschen in Mittel- und Westeuropa mit einer solchen in Verbindung gebracht werden, diese fiel vielmehr mitten in die hochglaziale Lößzeit.

6. Die sehr deutlichen Bodenbildungshorizonte der *mehrteiligen Lößfolgen*, wie sie sich in den innersten und auch heute trockensten Beckenlagen Mitteleuropas vorfinden, erfordern zu ihrer Entstehung zweifellos ein echtes Interglazialklima von im ganzen sogar noch etwas größerer Wärme, als sie die Nacheiszeit nach Mitteleuropa gebracht hat. Diese Horizonte können beim Mangel aller entsprechenden Anzeichen in sämtlichen anderen Eiszeitablagerungen keinesfalls als Spuren würmeiszeitlicher Interstadiale gedeutet werden, sondern müssen echten Interglazialen vorwürmeiszeitlichen Alters entsprechen.

7. Die Klimakurve der Würmeiszeit zeigt somit nach einem allmählichen — vielleicht durch kleine Schwankungen entsprechend den spätglazialen gegliederten — Anstieg des Kaltklimas in der frühglazialen Fließerdezeit nur einen einzigen, allenfalls von ganz geringen Oszillationen begleiteten längeren Hochstand während der hochglazialen Lößzeit, um dann wieder mit etwas stärkeren Schwankungen zum Spät- und Postglazial abzusinken. Die bisher weit verbreitete Aufgliederung der Würmeiszeit in drei als W I, W II und W III bezeichnete gleichwertige und selbständige, durch wesentlich wärmere Interstadiale getrennte Kältegipfel ist unbegründet und daher aufzugeben. Es besteht unter diesen Umständen auch keine Übereinstimmung der würmeiszeitlichen Klimaphasen mit der Strahlungskurve von MILANKOVITCH.

Literatur.

BLANC, A. C.: Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn. **9** (1936). — Über die Quartärstratigraphie des Agro Pontino und der Bassa Versilia. Verh. III. Int. Quart.-Konf. Wien 1936. 1938. — BRUSCH, M.: Die Höhenlage der heutigen und der eiszeitlichen Schneegrenze in Europa, Vorderasien und Nordafrika. Göttinger Geogr. Abh. 1950. (In Vorbereitung.) — BÜDEL, J.: Pet. Mitt. **229** (Erg.-H.) (1937). — Geol. Rundschau **34** (1944). — Die klima-morphologischen Zonen der Polarländer. Erdkunde II. Bonn 1948. — Naturwiss. **36**, 105, 133 (1949a). — Neue Wege der Eiszeitforschung. Erdkunde III. Bonn 1949b. — Die Würmeiszeit im Allgäuer Alpenvorland. 1950. (In Vorbereitung.) — DAVIES, A. M.: Tertiary faunas, Bd. II, The Sequence of Tertiary faunas. London: Rh. Murby u. Co. 1934. — DEEVEY, IR., E. S.: Ball. geol. Soc. America **60**, 9 (1949). — EBERL, B.: Z. dtsch. geol. Ges. **80** (1928). — Die Eiszeitenfolgen im nördlichen Alpenvorlande. Augsburg 1939. — FIRBAS, F.: Beitr. bot. Zbl. **16** (1925). — Z. Gletscherkde. **15** (1927). — Naturwiss. **34** (1947). — Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. Jena 1949. — FIRBAS, F., u. P. ZANGHERI: Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich **1936**, H. 12. — FOSTER-FLINT, R.: Glacial Geology and the Pleistocenex Epoch. New-York 1948. — FREISING, H.: Löße, Fließerden und Wanderschutt im nördlichen Württemberg. Mitt. Geol. Abtl. Württ. Statist. Landesamt. 1950. (In Vorbereitung.) — GAERTNER, H.-R. v.: Fließerde und Löß im südlichen Solling. 1950. (In Vorbereitung.) — GAMS, H.: Eelogae geologicae Helvet. **28**, H. 1 (1935). — GÖTZINGER, G.: Verh. geol. Bundesanst. **1935**; **1936**. — GRAUL, H.: Stratigraphische Probleme aus dem Pleistozän des deutschen Alpenvorlandes. 1950a. (In Vorbereitung.) — Zur Gliederung der diluvialen Schotterhorizonte im oberschwäbischen Donauvorland. 1950b. (In Vorbereitung.) — Zur Gliederung des Altdiluviums zwischen Westach-Lech und Flossach-Mindel. 1950c. (In Vorbereitung.) — KLEBELSBERG, R. v.: Die „Stadien" der Gletscher in den Alpen. Verh. III. Int. Quart.-Konf. Wien 1936. 1938. — KLUTE, F.: Ber. Ob.-Hess. Ges. Natur- u. Heilk. Gießen **13** (1939). — Geogr. Rundschau. Braunschweig 1949. — KLUTE, F., u. W. WILL: Pet. Mitt. **80** (1934). — KNAUER, J.: Die Ablagerungen der älteren Würm-Eiszeit (Vorrückungsphase) im süddeutschen und norddeutschen Vereisungsgebiet. Abh. geol. Ld.-Unters. am Bayr. Ob.-Bergamt, 1935. H. 21. — Mitt. geogr. Ges. München **30** (1937). — LAUTENSACH, H.: Z. Gletscherkde. **28**, H. 1/2 (1942). — LEIGHTON, M. M.: Science (Lancaster, Pa.) **77** (1933). — LOUIS, H.: Das Wachstum von Inlandeismassen. 1950. (In Vorbereitung.) — MEINARDUS, W.: Geol. Rundschau **34** (1944). — Nachr. Ges. Wiss. Göttingen **1928**. — MENSCHING, H.: Niederterr. und Talauen im Niedersächsischen Bergland. Vortr. Geogr. Koll. Göttingen 1948. — Schotterfluren und Talauen im Niedersächs. Bergland. Göttinger Geogr. Abh. 1950a. — Neues Arch. Niedersachsen **1950**b. — MILANKOVITCH, M.: Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen. In KÖPPEN u. GEIGER, Handbuch der Klimatologie. Berlin 1930. — Serb. Akad. Math.-Nat. Sekt. **33** (1941). — MORTENSEN, H.: Naturwiss. **17** (1929). — NILSSON, E.: The pluvials of East Afrika. Glaciers and climate, Geogr. Annaler. Stockholm 1949. — PENCK, A., u. E. BRÜCKNER: Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig 1909. — POSER, H.: Naturwiss. **35** (1948). — SCHÄFER, I.: Die Würmeiszeit im Alpenvorland zwischen Riß und Günz. Abh. Naturkd.- u. Tierg.-Vereins. II. Augsburg 1940. — SCHMIDTGEN, O., u. W. WAGNER: Notizbl. Ver. Erdk. Darmstadt **1928**. — SCHÖNHALS, E.: Neues Jb. Mineral., Geol. Paläont., B **1944**. — Über fossile Böden im nicht vereisten Gebiet. Eiszeit u. Gegenwart I. 1950. — Über einige Lößprofile und begrabene Böden im Rheingau. 1950. (In Vorbereitung.) — SCHWARZBACH, M.: Z. dtsch. geol. Ges. **92** (1940). — Naturwiss. **33** (1946). — SEIFFERT, H.: Das Klima an der Schneegrenze. Göttinger Geogr. Abh. 1950. (In Vorbereitung.) — SELLING, O. H.: On the late quarternary history of the hawaiian vegetation. Honolulu 1948. — SICKENBERG, O.: Das Eiszeitalter als Wiege der heutigen tiergeographisch-ökologischen Gruppen Europas. Unveröff. Vortrag im Göttinger Geogr. Kolloquium am 22. Nov. 1949. — SOERGEL, W.: Löße, Eiszeiten und paläolithische Kulturen. Jena 1919. — Fortschr. Geol. u. Paläont. **1925**, H. 13. — Die Vereisungskurve. Berlin 1937. — TONGIORGI, E.: Vegetation und Klima der letzten Eiszeit und des Postglazials in Mittelitalien. Verh. III. Int. Quart.-Konf. Wien 1936. 1938. — TROLL, C.: Forsch. dtsch. Landeskde. **23**, H. 1 (1924). — Geogr. Anz. **1930**. — Mitt. geogr. Ges. München **29** (1936). — Der subnivale oder periglaziale Zyklus der Denudation. Erdkunde II. 1948. — WAGNER, W.: Oberrh. Geol. Abh. **11**, H. 1/2 (1939). — WEIDENBACH, F.: Neues Jb. Mineral., Geol. Paläont. B. usw., Beil.-Bd. **78** (1937). — WIEGERS, FR.: Diluviale Vorgeschichte des Menschen, Bd. 1, Allgemeine Diluvialprähistorie. Stuttgart 1928. — WISSMANN, H. v.: Über Seitenerosion. In Vorbereitung. — WOLDSTEDT, P.: Das Eiszeitalter. Grundlinien einer Geologie des Diluviums. Stuttgart 1950. — Über Stand und Aufgaben der Quartärforschung, besonders in Deutschland. Eiszeit und Gegenwart, I. 1950. — WOLDSTEDT, P., U. REIN u. W. SELLE: Untersuchungen an Interglazialen der Lüneburger Heide. Eiszeit und Gegenwart, I. 1948. 1950. — ZEUNER, F. E.: The Pleistocene period, its climate, chronology and faunal successions. Roy. Soc. 130. London 1945.

Eingegangen am 14. Juli 1950.

Kurze Originalmitteilungen.

Über das Auftreten des Tunneleffektes bei Ad- und Desorption der Wasserstoffisotope.

In einer Reihe von Arbeiten wurde gezeigt, daß es trotz verfeinerter Arbeitsmethoden nicht gelingt, bei Ad- und anschließender Desorption die isotopische Zusammensetzung von Gasen zu verschieben, allerdings mit einer einzigen Ausnahme, dem Gemisch von schwerem und leichtem Wasserstoff[1]). Über den gesamten Fragenkomplex soll in Kürze eine ausführliche Arbeit erscheinen, in der auch über die Versuche von R. EDSE und insbesondere G. BEGGEROW berichtet werden soll[2]).

Während fast alle früheren Versuche bei 45 bis 60° K ausgeführt wurden, sind die hier herangezogenen Versuche bei der Siedetemperatur des flüssigen Wasserstoffs, 20,37° K, ausgeführt. Schon bei 45° K waren unter geeigneten Versuchsbedingungen Separationsfaktoren von 10, ja, bei extrem geringen Belegdichten sogar von 50 und darüber gefunden worden. Während man bei diesen geringen Belegdichten vielleicht auch chemisch wirkende Adsorptionszentren hätte für diesen unerwarteten Effekt verantwortlich machen können, fällt bei unseren jüngsten Versuchen diese Möglichkeit fort, da je g Silicagel bis zu 75 cm³ Wasserstoff adsorbiert wurden, gegenüber von weniger als 1 cm³ bei 45° K. Hierbei ergaben sich sogar Separationsfaktoren bis zu 100 und darüber, falls nur die Versuchsbedingungen so gewählt sind, daß ein sehr geringer stationärer Wasserstoffdruck über dem Silicagel herrscht und daher sehr lange Zeiten benötigt werden, um nur Bruchteile von 1 cm³ Gas abzupumpen.

Eine genaue Diskussion des ganzen Problems hat ergeben, daß diese „klassisch" unverständlichen Ergebnisse nur so verstanden werden können, daß der Tunneleffekt, welcher in der Kernphysik eine entscheidende Rolle spielt, in der Chemie der Molekeln aber noch nicht beobachtet worden ist, in diesem speziellen Falle in Erscheinung tritt. Die Aktivierungswärme für die Oberflächendiffusion einer Gasmolekel aus dem Inneren eines Silicagel- oder Kohlekorns an die Oberfläche kann man aus der Desorptionsgeschwindigkeit und einer Reihe anderer bekannter Abschätzungsarten ziemlich genau einengen. Sie beträgt etwa die Hälfte der Desorptionswärme, die direkt gemessen wurde. Die Adsorptionswärme des schweren Wasserstoffes ist bei 80° K nur etwa um 3% größer als die des leichten (vgl. Arbeit BEGGEROW). Daher ist das zeitbestimmende Moment für die Desorption die Diffusion der Gasmolekeln an die Kornoberfläche und nicht der Vorgang des Verdampfens. Die Wellenmechanik gibt unmittelbar an, wie groß die Wahrscheinlichkeit für ein Teilchen ist, einen Potentialwall, den wir der Einfachheit halber als Kastenpotential annehmen, zu durchdringen. Die Beziehung lautet:

$$F = \mathfrak{f} \cdot e^{-\frac{a\sqrt{2mV}}{\hbar}},$$

wobei m die Masse des Teilchens, V die Höhe des Potentials und a die Breite desselben bedeuten, während der klassische BOLTZMANN-Faktor

$$F = \mathfrak{f}' \cdot e^{-\frac{Q}{RT}}$$

ergibt, wobei $\mathfrak{f}$ und $\mathfrak{f}'$ etwa gleich groß sind. Man sieht, daß der BOLTZMANN-Faktor unabhängig von der Masse, der Tunneleffekt unabhängig von der Temperatur ist. Es ist nunmehr klar, daß der leichte Wasserstoff schneller an die Oberfläche eines Silicagelkornes gelangt und dort verdampfen kann. Dieses Ergebnis zeigt auch sofort, daß, abgesehen vielleicht von einer Mischung von He^3 und He^4, bei anderen Gasen nie der Tunneleffekt beobachtet werden kann, da der BOLTZMANN-Faktor bei weitem den Tunneleffekt überwiegt. Bei ihnen könnte nur bei so langsamen Abpumpgeschwindigkeiten, die nicht mehr im Bereiche des Experimentes liegen, ein Effekt erwartet werden.

Zur Illustration sei eine Versuchsreihe herausgegriffen:

Tabelle 1.

Versuchs-Nr.	Belegdichte $H_2 \div D_2$ cm³/g Silicagel	Enddruck mm	Zahl der Einzelmessung	% D_2 adsorbiert	% D_2 desorbiert	Separationsfaktor
2	74,7	8,0 10^{-4}	10	50	4,2	22,6
4	74,3	8,8	9	51	4,2	23,2
6	56,3	0,79	7	52	2,9	36,2
8	49,7	0,53	6	50	1,6	62
5	37,8	0,2	3	51	0,7	~140

Man sieht, daß bei abnehmender Belegdichte der Tunneleffekt stark zunimmt, da dann in der Hauptsache nur die stärker bindenden Adsorptionszentren belegt werden, so daß der Unterschied zwischen klassischer und quantenmechanischer Diffusion sich besonders stark ausprägen kann.

Herrn Prof. BAGGE, Hamburg, danken wir auch an dieser Stelle herzlich für seine konstruktiven Diskussionen, Herrn Dipl.-Chem. B. REPS und Herrn Mechanikermeister E. NANN für ihre Hilfe bei den Experimenten.

Aus dem Institut für physikalische Chemie, Hamburg.

PAUL HARTECK und G. A. MELKONIAN.

Eingegangen am 8. August 1950.

[1]) PETERS, K., u. W. LOHMAR: Angew. Chem. **50**, 40 (1937). — EDSE, R., u. P. HARTECK: Angew. Chem. **52**, 32 (1939). — HARTECK, P., u. KL. A. SUHR: Angew. Chem. **56**, 120 (1943). — BEGGEROW, G., u. P. HARTECK: Z. physik. Chem., A **193**, 265 (1944).

[2]) In der Doktorarbeit von G. BEGGEROW, Hamburg 1949, wurde zum ersten Male der Tunneleffekt bei der Trennung von leichtem und schwerem Wasserstoff experimentell gesichert. Der Vortrag hierüber — Bunsentagung 1949 — erscheint demnächst in der Zeitschrift für Elektrochemie.

Die Zuverlässigkeit des antibiotischen Testes mit Diffusionsplatten.

Die gebräuchlichsten Testmethoden, der Zylinder- und Lochtest, geben zwar ein Bild von der Wirksamkeit eines Antibiotikums auf den auskeimenden Testorganismus, sie gestatten aber keine Aussagen über den Einfluß des Stoffes auf ältere Keime. Ein weiterer Gesichtspunkt, der besonders für die Phytopathologie von Bedeutung ist — die Wirkung des Teststammes auf den Antagonisten bei der Gegenüberstellung im Vitaltest — bleibt ebenfalls unberücksichtigt.

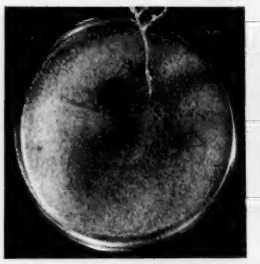


Fig. 1. Testplatte unbehandelt.

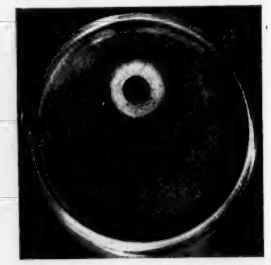


Fig. 2. Die gleiche Platte wie unter Fig. 1 mit TTC gefärbt.

Fig. 1 u. 2. Teststamm: *Bacillus mycoides*. Die damit beimpfte Platte (durch Übersprühen) wurde zunächst 36 Std bei 25° C bebrütet und dann der Antagonist *(Aspergillus terreus)* zugesetzt. Auf Fig. 1 ist keinerlei Hemmzone sichtbar, sie tritt erst nach der Behandlung mit TTC hervor (Fig. 2).

Besonders im letzteren Falle zeigt sich häufig ein ganz anderes Bild als im Filtrattest, wo lediglich die Wirkung einer bereits vorliegenden Hemmstoffmenge überprüft wird. Im Vitaltest, wo der Antagonist unmittelbar auf die mit dem Testkeim übersprühte Platte aufgeimpft wird, muß dagegen der Hemmstoff erst gebildet werden. Dabei kommt es nicht selten vor, daß dessen Produktion durch die Einwirkung des Teststammes unterbunden wird. Oft beobachtet man rein äußerlich keine Hemmzone und doch läßt sich nachweisen, daß die in unmittelbarer Nähe des aufgeimpften Antagonisten gelegenen Keime sich zwar entwickelt und vermehrt haben, dann aber durch den allmählich gebildeten Hemmstoff abgetötet wurden. Eine so gebildete Hemmzone ist nur dann sichtbar, wenn die Bakterien der Autolyse unterliegen. Dies trifft jedoch nur in den seltensten Fällen zu. Es wurde daher versucht, durch Verwendung eines Vitalfarbstoffes in jedem Falle eine Entscheidung herbeizuführen. Als besonders geeignet erwies sich Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC)[1]),[2]),[3]), ein Redoxindikator, der in oxydiertem Zustande farblos ist und bei der Reduktion in das rote Formazan übergeht. Die Testplatte wird mit einer 1%igen Lösung dieses Farbstoffes überschichtet und je nach Alter der Testkeime tritt nach 1 bis mehreren Minuten in dem nicht geschädigten Bereich der Platte eine intensive Rotfärbung ein, die dort ausbleibt, wo die Organismen gehemmt sind. Die Fig. 1 und 2 zeigen die gleiche Testplatte vor und nach der Behandlung mit TTC.

Mit dieser Methode läßt sich auch zeigen, daß ein bestimmter Organismus gegen ein und dieselbe Hemmstoffmenge mit wechselndem Alter verschieden reagiert. So konnte bei der Gegenüberstellung *Bacillus mycoides/Penicillium expansum* (s. Fig. 3 und 4) gezeigt werden, daß das auskeimende Bakterium (Fig. 3 links) am stärksten gehemmt, derselbe Organismus jedoch im Alter von 24 Std (Fig. 4 links) durch die gleiche Hemmstoffmenge gefördert wird. Nach 36 Std (Fig. 3 rechts) tritt dann wiederum eine Schädigung ein, die mit zunehmendem Alter (Fig. 4 rechts) um so stärker wird.

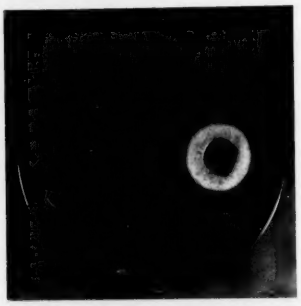


Fig. 3. Einwirkung des Antagonisten: Links sofort, rechts nach 36 Std.

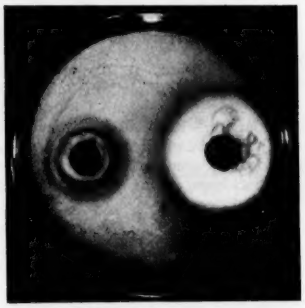


Fig. 4. Einwirkung des Antagonisten: Links nach 24 Std, rechts nach 48 Std.

Fig. 3 u. 4. Teststamm: *Bacillus mycoides*. Antagonist: *Penicillium expansum*. Die Hemmzonen auf den Fig. 3 und 4 rechts sind auf der ungefärbten Testplatte nicht zu sehen. Die Anfärbung der auf Fig. 3 wiedergegebenen Testplatte erfolgte nach 48 Std, die auf Fig. 4 wurde erst nach 60 Std mit TTC behandelt. An der Intensität der Rotfärbung sieht man, daß die Reduktionstätigkeit des Testorganismus im letzteren Falle merklich nachgelassen hat (in Fig. 3 und 4 durch die Tönung kenntlich).

Auch bei der Zylindertestmethode erscheint in vielen Fällen — besonders beim Austesten von Pilzkulturfiltrat und Hemmstoffgemischen, ebenso beim Einfüllen zu großer Flüssigkeitsmengen in den Testzylinder — die wirkliche, mit TTC sichtbar gemachte Hemmzone oft größer als die normal sichtbare.

Über weitere Einzelheiten wird demnächst ausführlicher unter dem Namen des Erstgenannten im Arch. f. Mikrobiologie berichtet.

Institut für Mikrobiologie der Universität Göttingen.

Karl Heinz Wallhäusser und August Rippel-Baldes.

Eingegangen am 25. Juli 1950.

[1]) Bielig, H. J., G. A. Kausche u. H. Haardick: Z. Naturforschg 4b, 80 (1949).

[2]) Kuhn, R., u. D. Jerchel: Ber. dtsch. chem. Ges. **74**, 949 (1941).

[3]) Lakon, G.: Getreide, Mehl und Brot **1948**, H. 13/14, 107.

[4]) Die Frage der Lokalisation der Reduktionszentren in den Bakterien, über die inzwischen eine Arbeit von Bielig und Mitarbeitern [1] erschien, wurde von uns, ohne Kenntnis der erwähnten Arbeit, seit Dezember 1948 ebenfalls bearbeitet. Auf Grund der uatsache, daß auch die Kerne der höheren Pflanzen TTC reduzieren Tnd in großen Kristallen anlagern, kann man annehmen, daß auch die Reduktionszentren in den Bakterien kernähnliche Funktion haben und durch die Formazananlagerung größer erscheinen, als sie in Wirklichkeit sind.

Über die Wirkgruppe der Phosphatase.

Bei der Dialyse der Muskelphosphatase, einer Phosphatase mit saurem p_H-Optimum, wird ein Stoff entfernt[1]), der nicht Magnesium ist und dennoch die Aktivität des dialysierten Fermentes voll wiederherstellen kann. Dies konnte durch Verwendung zweier verschiedener Substrate, Glyzerophosphat und Phenylphosphat, deutlich gemacht werden. Im ersten Falle wird die Inaktivierung des Fermentes durch Zusatz von Magnesium wieder aufgehoben, bei Phenylphosphat tritt das nicht ein, dagegen erfolgt eine Reaktivierung des Fermentes durch Zusatz der konzentrierten Dialysierflüssigkeit. Durch eine zweite Versuchsreihe wurde bewiesen, daß dieser Stoff auch für die Glyzerophosphatspaltung notwendig ist, trotzdem diese Spaltung durch Zusatz von Mg zu einem großen Teil reaktivierbar ist.

Unsere Untersuchungen haben nun ergeben, daß dieser Stoff sowohl bei der sauren Muskelphosphatase als auch bei der alkalischen Nierenphosphatase nachzuweisen ist. Im Gegensatz zum Mg wird also durch Zusatz dieser Substanz sowohl die durch Dialyse inaktivierte saure wie auch die alkalische Phosphatase vollständig reaktiviert. Dieser Stoff ist offensichtlich die Wirkgruppe der Phosphatase.

Bei der Isolierung dieser Substanz haben wir folgende Ergebnisse erzielt: Die Wirkgruppe der Phosphatase ist eine Substanz *organischer Natur*, denn durch kurzes Glühen im Platintigel wird sie vollständig zerstört. Sie ist *praktisch magnesiumfrei*, denn der Glührückstand, in wenig Salzsäure gelöst und dem inaktivierten Ferment zugesetzt, ist nicht in der Lage, die Glyzerophosphatspaltung zu reaktivieren. Dies gilt sowohl für die Muskelphosphatase als auch für die Nierenphosphatase, deren Aktivierbarkeit durch Mg besonders groß ist. Die Reaktivierung des dialysierten Fermentes durch Zusatz dieser Substanz kann auch nicht auf einen eventuellen minimalen Mg-Gehalt der Asche zurückgeführt werden, da die Gesamtmenge der Asche derjenigen Co-Fermentmenge, die zur vollständigen Reaktivierung genügt, nur etwa einem Zwanzigstel der Mg-Menge entspricht, die zur Reaktivierung notwendig ist. Der tatsächliche Mg-Gehalt der Asche ist aber mit der von uns verwendeten Mikromethode nicht nachweisbar.

Die Wirkgruppe der Phosphatase ist unlöslich in Petroläther, Pentan und Hexan, sie ist wenig löslich in Äther, dagegen gut löslich in Alkohol, Chloroform und Essigester. Durch fraktionierte Ausschüttelung der wäßrigen Lösung mit Essigester nach der Methode der Gegenstromverteilung[2]) konnten wir die Substanz rein darstellen, wobei wir die Beobachtung machten, daß die Löslichkeit in Essigester mit fortschreitender Reinheit abnahm. Die reinsten Fraktionen kristallisierten in charakteristischer Weise. Aus 30 kg menschlicher Nieren gewannen wir auf diese Weise 22 mg Substanz. Bei der Verbrennungsanalyse wurden 40% Asche gefunden, die als Phosphorsäure identifiziert wurde, und zwar wie folgt: Die Substanz erwies sich als frei von präformierter Phosphorsäure. Kocht man sie 3 Std mit n-Kalilauge, so wird keine Phosphorsäure abgespalten. Dagegen wird nach etwa einstündigem Kochen mit 2-n-Schwefelsäure die Phosphorsäure vollständig frei: 7,8 mg Substanz ergaben 4,152 mg H_3PO_4. Wenn man diese Phosphorsäuremenge auf Metaphosphorsäure umrechnet, so bekommt man einen Aschegehalt von 43,5%. Daraus ergibt sich ebenfalls, daß die Asche praktisch nur aus Phosphorsäure bestehen kann. Die Analyse der Substanz hat folgendes Ergebnis:

$$C = 22{,}95\%, \quad H = 4{,}50\%, \quad N = 4{,}28\%, \quad P = 16{,}9\%.$$

Dies entspricht folgender Bruttoformel:

$$C_{6,2}, \quad H_{14,8}, \quad O_{10,5}, \quad N, \quad P_{1,8}.$$

Diese Formel kommt der *Cholin-pyrophosphorsäure* sehr nahe, wenn man sie als Anhydrid oder Betain schreibt:

$$C_5, \quad H_{15}, \quad O_7, \quad N, \quad P_2.$$

Die aus den Analysenergebnissen errechnete Bruttoformel enthält ein C und drei O zuviel. Doch können wir nicht ausschließen, daß die Substanz kleine Mengen von Verunreinigungen enthielt.

Aus einer zweiten Charge wurden 7,15 mg Substanz gewonnen, die allerdings etwas weniger rein waren als die erste Probe. Diese Substanzmenge wurde mit 5 cm³ n-HCl 2 Std auf dem Wasserbad hydrolysiert und anschließend mit n-Natronlauge genau neutralisiert. Zu einem Gesamtvolumen von 20 cm³ wurden 2 cm³ Magnesium-Aurantiat (13,5%ig, E. Merck[3]) zugesetzt. Nach einiger Zeit fielen feine Nadeln aus, die nach 24 Std abgesaugt und mit 10 cm³ Wasser nachgewaschen wurden. Nach dem Trocknen bis zur Gewichts-

konstanz wurden 7,4 mg Aurantiat gefunden, die im Aussehen und der Kristallform nach völlig dem Cholin-Aurantiat glichen: Mikroschmelzpunkt nach KOFLER 233 bis 234° unter Zersetzung, Aurantiat aus synthetischen Cholin (BASF) 232°, Mischschmelzpunkt beider 232 bis 234°. *Analyse.* Gefunden: 20,01% N, berechnet 20,66% N für $C_5H_{14}ON \cdot C_{12}H_4O_{11}N_7$.

Es liegt also Cholin-Aurantiat vor. Die gefundene Menge Aurantiat entspricht 1,703 mg Cholin und damit 55,6% der Theorie, wenn man Cholin-pyrophosphorsäure annimmt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß bei diesen kleinen Mengen die Ausfällung des Cholin-Aurantiat wohl kaum quantitativ erfolgen konnte und daß unser Präparat immer noch kleine Mengen von Verunreinigungen enthielt, ist das Ergebnis als zufriedenstellend zu bezeichnen.

Doch ist es sehr wahrscheinlich, daß die Wirkgruppe der Phosphatase Cholin-pyrophosphorsäure oder eine ihr sehr nahestehende Substanz ist. In diesem Zusammenhang verweisen wir auf zwei interessante Befunde aus der Phosphataseforschung der neueren Zeit: W. WAYNE KIELLEY und OTTO MEYERHOF[4]) zeigten, daß teilweise gereinigte Präparate der Magnesium-aktivierbaren Adenosintriphosphatase des Muskels durch Lecitinase von Clostridium welchii inaktiviert wird.

FR. LUNDQUIST[5]) machte die interessante Beobachtung, daß im menschlichen Ejakulat beträchtliche Mengen an Cholinphosphorsäure vorkommen. Es wird die Ansicht geäußert, daß die Cholinphosphorsäure das natürliche Substrat der Prostataphosphatase ist. Wir nehmen an, daß die Cholinphosphorsäure des Ejakulats entweder im Zusammenhang mit der Bildung der Prostataphosphatase steht oder das Ergebnis einer teilweisen Zersetzung dieses Fermentes ist. Es ist interessant, daß der Gehalt des Ejakulats an Cholinphosphorsäure in Beziehung zum Gehalt an Prostataphosphatase steht: Während im menschlichen Ejakulat einem außerordentlich hohen Gehalt an Phosphatase auch ein großer Gehalt an Cholinphosphorsäure entspricht, kommt im Ejakulat des Stieres nur sehr wenig Ferment vor. Dementsprechend ist der Gehalt an Cholinphosphorsäure nur etwa ein Zehntel des menschlichen Ejakulats.

Es ergibt sich die Frage, auf welche Weise die Cholinpyrophosphorsäure die hydrolytische Spaltung von Phosphorsäureestern katalysiert. An der von uns isolierten Substanz machten wir folgende Beobachtung: Ihre Aktivität wird vollständig zerstört durch einstündiges Kochen der wäßrigen Lösung oder durch eine Einwirkung von n-10-Natronlauge bei Zimmertemperatur im Verlaufe von 30 min. Unter diesen Bedingungen findet eine Abspaltung der Phosphorsäure nicht statt. In der Substanz muß also eine Atomgruppierung vorliegen, die sehr leicht hydrolytisch gespalten wird und die für die Wirkung verantwortlich ist. Wir vermuten, daß es sich um eine Betain-Konfiguration handelt, die beim einfachen Betain die Anlagerung von einem Mol Kristallwasser ermöglicht und durch Behandeln mit verdünnten Laugen unter Bildung eines Natriumsalzes aufgesprengt wird. Immerhin können wir auch nicht mit Bestimmtheit ausschließen, daß noch irgendeine andere, leicht abspaltbare Atomgruppierung vorhanden ist, da in unserer errechneten Bruttoformel ein Kohlenstoffatom und drei Sauerstoffatome zuviel sind. Weitere Versuche sollen das klären.

Aus der Chemischen Abteilung des Physiologischen Instituts, Heidelberg.

W. KUTSCHER und H. SIEG.

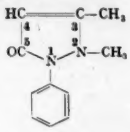
Eingegangen am 17. Mai 1950.

[1]) KUTSCHER, W., u. K. SCHREIER: Naturwiss. **1948**, 255.
[2]) Apparatur nach F. WEYGAND, Chemie-Ingenieur-Technik **1950** (im Druck).
[3]) ACKERMANN, D.: Z. physiol. Chem. **281**, 197 (1944).
[4]) WAYNE KIELLEY, W., u. OTTO MEYERHOF: J. of biol. Chem. **183**, 391 (1950).
[5]) LUNDQUIST, FR.: Acta physiol. scand. (Stockh.) **13**, 322 (1947); **14**, 263 (1947).

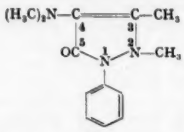
Über die relative Labilität heterozyklischer Fünfringe.

1. *Von Pyrazolonen.*

Antipyrin (I = 1 Phenyl-2,3-dimethyl-pyrazol-5-on) wird von Oxydationsmitteln erst unter verhältnismäßig heftigen Bedingungen angegriffen. Dagegen zeigt das 4-Dimethylamino-antipyrin, das *Pyramidon* (II), ein sehr beträchtliches Reduktionsvermögen. Es reduziert Silbernitrat, Eisenchlorid und andere Stoffe, obwohl dieses Reduktionsvermögen aus der Strukturformel nicht ohne weiteres ersichtlich ist. Das Pyramidon geht dabei über blaue Pyrazolfarbstoffe in farblose Komponenten über.



I.



II.

Wir versuchten, den Verlauf der Reaktion zu klären, indem wir Jodsäure und Bromsäure als Oxydationsmittel heranzogen. Das Reduktionsvermögen des Pyramidons ist so stark, daß es Jodsäure schon in der Kälte zu Jod reduziert. Noch eine Lösung 1:20000 zeigt Braunfärbung[1]). Die Reduktion erfolgt so spontan und in der Wärme bei 60° mit einer solchen Intensität, daß der Pyrazolonring völlig oxydiert wird. Unter Abspaltung der Dimethylamingruppe, die wir mit Hilfe von 4-Chlor-1,3-dinitro-benzol als 2,4-Dinitro-dimethyl-anilin nachweisen konnten, erfolgt Ringöffnung, Abspaltung des Stickstoffs in elementarer Form, sein Ersatz durch eine Hydroxylgruppe und Bildung von Trijodphenol aus dem in 1-Stellung befindlichen Phenylrest.

Es ist auffällig und für die Heftigkeit der Reaktion bezeichnend, daß die Jodsubstitution am Phenol, die im Gegensatz zur Bromierung sonst nur in alkalischer oder schwach saurer Lösung (Salicylsäure) bekannt ist, hier auch in stark saurer Lösung (auch mit Kaliumjodat-Schwefelsäure) so glatt erfolgt.

Durch Einwirkung von Bromsäure (Kaliumbromat-Schwefelsäure) entsteht in gleichem Reaktionsverlauf nach Abspaltung von Dimethylamin und Stickstoff Tribromphenol und Tetrabromchinon.

Aus Phenylhydrazin können in gleicher Weise unter Abspaltung von Stickstoff die Trihalogenphenole erhalten werden.

Mit Kaliumchlorat-Schwefelsäure tritt auffälligerweise kein so starker Abbau ein. Hier werden unter gleichen Bedingungen stickstoffhaltige Zwischenprodukte gefaßt. Unter milderen Bedingungen können auch mit den anderen beiden Halogensäuren Zwischenprodukte erhalten werden, die zur Zeit weiter untersucht werden.

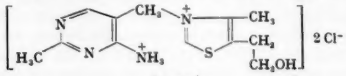
Braunschweig, Pharmazeutisch-chemisches Institut der Technischen Hochschule.

WALTHER AWE und ELISABETH STOY.

[1]) Dissertation F. DEMELIUS, Braunschweig 1948.

2. *Thiazol-Ring.*

Der Schwefel ist im Aneurin (Vitamin B_1), obwohl er ätherartig verankert ist, doch in gewissem Sinne so labil, daß ADOLF WINDAUS und Mitarbeiter bei der Konstitutionsaufklärung zunächst die Möglichkeit in Betracht zogen, daß ein Thiopyrrol- und nicht ein Thiazolderivat vorläge: Sie sagen darüber[1]): „Die Reaktionen des ... Abbauproduktes machen es wahrscheinlich, daß es eine freie Carboxylgruppe und eine $>C=S$- oder $>C-SH$-Gruppe enthält. Als Ringsystem ist vor allem der Pyrrolring in Betracht zu ziehen."



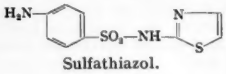
Aneurin.

Dies veranlaßte zu der Prüfung, ob das Aneurin die durch Schwefelionen stark beschleunigte Jodazidreaktion (Oxydation von Aziden durch Jod)[2])

$$[S^{2-}]J_2 + 2\,NaN_3 \rightarrow 2\,NaJ + 3\,N_2$$

zu katalysieren vermag.

Tatsächlich ist dies der Fall. Auch mehrfach über das Jodid gereinigte Präparate behalten die Wirksamkeit in gleicher Weise. Man kann das Aneurinchlorid in das Jodid überführen, aus diesem mit Silbernitrat das Jodion entfernen und damit zugleich Schwefelionen aus etwaigen Verunreinigungen als Silbersulfid niederschlagen, im Filtrat ist das nach Abscheidung des überschüssigen Silbers als Silberbromid vorliegende Aneurinbromid in gleicher Weise katalytisch wirksam. Ebenso verhalten sich andere wasserlösliche Thiazolabkömmlinge, wie z. B. das Sulfonamid Sulfathiazol (Cibazol, Eleudron).



Sulfathiazol.

Auch andere Stoffe mit schwefelhaltigen Heterozyklen können entsprechend reagieren[3]). Die Reaktion wird zur Zeit nach mehreren Richtungen hin untersucht. Wasserlösliche Thiazolabkömmlinge reagieren jedoch verhältnismäßig stark positiv, wenn auch gegenüber Stoffen mit >C=S- oder >C—SH-Gruppen naturgemäß stark verzögert.

Braunschweig, Pharmazeutisch-chemisches Institut der Technischen Hochschule.

WALTHER AWE und ELFRIEDE NAUJOKS.

Eingegangen am 30. Juni 1950.

[1]) H. S. 228,30/31 (1934).
[2]) RASCHIG, F.: Ber. Dtsch. Chem. Ges. 48, 2088 (1915).
[3]) Diplomarbeit ELFRIEDE NAUJOKS, Braunschweig 1949.

Über die Differenzierung der bei Vorgängen am Aktomyosin beteiligten Sulfhydrylgruppen.

Vor kurzem haben wir über die Bedeutung von SH-Gruppen für Prozesse an Aktomyosin (AM) und seinen Komponenten berichtet[1]). Danach verhindert Blockierung von SH-Gruppen durch quecksilberorganische Verbindungen die

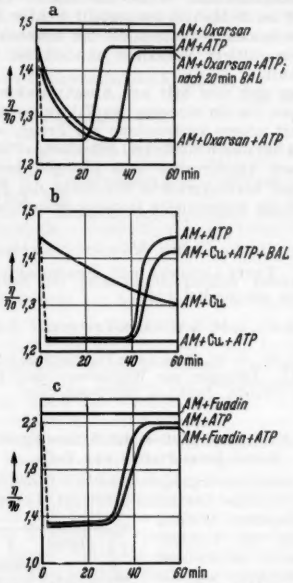


Fig. 1a—c. Viskositätsänderung von Aktomyosinsolen auf Zusatz von a: Oxarsan (Endkonzentration $0{,}5 \cdot 10^{-6}$ Mol/cm³), b: Glykokollkupfer ($0{,}5 \cdot 10^{-6}$ Mol/cm³) und c: Fuadin (10^{-5} Mol/cm³) sowie von ATP (10^{-6} Mol/cm³).

„*Kontraktion*"[2]) von Aktomyosin, die Symplexbildung aus Aktin (A) und Myosin (M), die *Polymerisation* von G- in F-Aktin und die *Adenosintriphosphatase (ATP-ase)-Wirkung* des Aktomyosins und Myosins. Bei der Verwendung anderer Schwermetallverbindungen finden wir nun ein unterschiedliches Verhalten der bei den oben genannten Vorgängen am Aktomyosin beteiligten SH-Gruppen. Während sich das *komplexe Kupfersalz des Glykokolls* den Hg-organischen Verbindungen weitgehend analog verhält, unterscheiden sich die untersuchten *Arsen-* bzw. *Antimonverbindungen* m-Amino-p-oxyphenylarsen(III)-oxyd[3]) bzw. Antimon(III)-Brenzkatechindisulfosäure[4]) wesentlich (Tabelle 1). Cystein bzw. 1,2-Dimercaptopropanol (BAL)[5]) heben auch hier die Hemmung auf. Antimon(V)-Verbindungen fanden wir ohne Wirkung.

Wie Tabelle 1 zeigt, fällt die Viskosität eines Aktomyosin-Sols nach Zusatz von Kupfer, ebenso wie nach Quecksilber, ab, wahrscheinlich als Folge der Dissoziation in Aktin und Myosin, während Arsen und Antimon keine Wirkung haben (Fig. 1). Andererseits verzögert Arsen ebenso wie Quecksilber den durch ATP bewirkten Viskositätsabfall, vielleicht durch Konkurrenz um die dafür verantwortlichen SH-Gruppen; denn auch dieser Effekt läßt sich durch BAL aufheben (Wiederanstieg der Viskosität = Symplexbildung). Kupfer und Antimon

Tabelle 1. *Wirkung von Schwermetallverbindungen auf Aktomyosin und seine Komponenten.*

	Kontraktion	Aktin-Polymerisation G→F	ATP-ase	Symplexbildung A+M →AM	Dissoziation ohne ATP; AM →A+M	Dissoziation mit ATP; AM →A+M
Hg (II)	+	+	+	+	*D*	*V*
Cu (II)	+	+	+	+	*D*	0
As (III)	++	(+)	0	+	0	*V*
Sb (III)	+	0	0	0	0	0
Sb (V)	0	0	0	0	—	—

++ schwer reversible Hemmung, + leicht reversible Hemmung, (+) schwache Hemmung, 0 keine Wirkung, *D* Dissoziation (Viskositätsabfall) ohne ATP, *V* Verzögerung der Dissoziation (Viskositätsabfall) mit ATP.

zeigen diese Wirkung nicht. Einerseits wirken also Kupfer und Quecksilber, andererseits Arsen(III) und Antimon(III) ähnlich; innerhalb der Gruppen ist die Wirkung von Kupfer und Antimon(III) bei allen untersuchten Vorgängen jeweils schwächer.

Einen Hinweis auf den *Wirkungsmechanismus der „Kontraktion"* des Aktomyosingels durch ATP geben Hemmungsversuche am Gel mit der oben genannten Arsen(III)-Verbindung. Zusatz dieser Substanz *vor* ATP zum Sol führt nach darauffolgender Überführung in Gel nicht mehr zur „Kontraktion"; dagegen führt der Zusatz *nach* ATP zu kontrahiertem Gel. Daraus ist zu schließen, daß ATP bereits im Sol-Zustand des AM die für die Kontraktion verantwortlichen SH-Gruppen besetzt; denn Oxarsan hemmt, wie aus der Tabelle 1 zu ersehen ist, die „Kontraktion" des Aktomyosingels.

Eine ausführliche Beschreibung der Versuche erfolgt an anderer Stelle.

Pharmakologisches Institut der Johannes-Gutenberg-Universität, Mainz.

F. TURBA, G. KUSCHINSKY und H. THOMANN.

Eingegangen am 13. Juli 1950.

[1]) KUSCHINSKY, G., u. F. TURBA: Naturwiss. (im Druck). — Biochimica et Biophysica Acta (im Druck).
[2]) KUSCHINSKY, G., u. F. TURBA: Experientia 6, 103 (1950).
[3]) „Oxarsan" (Präparat 11832 B) der Farbwerke Höchst.
[4]) „Fuadin" der Bayer-Werke, Leverkusen.
[5]) Sulfactin-Homburg.

Über die Erhöhung der Kälteresistenz der Pflanzen bei Stickstoffmangel.

Im Jahre 1948 hat der eine von uns (G.) gemeinsam mit SCHUMANN-PETERSEN[1]) bei N-Mangelkulturen von Tradescantia und Impatiens nachweisen können, daß gegenüber den normal ernährten Pflanzen eine außerordentlich starke Erhöhung der Frostresistenz zu beobachten ist. Während z. B. bei einem sechsstündigen Aufenthalt in einer Temperatur von — 5,5° C bereits alle Kontrollpflanzen abgestorben waren, zeigten von den N-Mangelpflanzen noch 90% keinerlei Absterbeerscheinungen. Dieses Ergebnis war vorausgesagt worden, als sich zeigte, daß N-Mangelpflanzen eine stark erhöhte Plasmaviskosität besitzen, wissen wir doch, daß — nach Untersuchungen von KESSLER und RUHLAND[2]) — neben anderen Umständen wie Wassergehalt und osmotischem Wert vor allem der Grad der Plasmahydratation für das Eintreten des Kältetodes maßgebend ist. Es schien nun wichtig, festzustellen, ob diese auffallende Beziehung zwischen N-Ernährung und Kälteresistenz eine im Pflanzenreich allgemein vorkommende Erscheinung ist. Zu diesem Zwecke wurden an vier systematisch völlig verschiedenen Pflanzen N-Mangelkulturen angelegt und die auf diese Weise angezogenen Pflanzen gemeinsam mit den Kontrollen in den Kältekammern des „Lebensmitteltechnologischen Institutes München" entweder 60 min bei verschieden tiefen Temperaturen oder verschieden lange bei der gleichen Temperatur exponiert und nachher die überlebenden gezählt. Als Nährlösung diente Knop und die bei RUGE[3]) (S. 137) angegebene N-Mangellösung. Beide erhielten den üblichen Zusatz von AZ-Lösung.

Fig. 1 und 2 zeigen die Kälteresistenzversuche bei Papaver somniferum, die 51 Tage nach dem Auskeimen vorgenommen wurden und bei Avena strigosa, bei der der Versuch am 53. Tag nach der Keimung erfolgte. Die Mohnkeimlinge mußten vor Überführung in die Wasserkultur zunächst 17 Tage

in Erde gezogen werden, da sonst aus N-Mangel überhaupt kein Wachstum möglich war. Die Unterschiede sind außerordentlich deutlich, denn während z. B. beim Mohn das Erfrieren der normal ernährten Pflanzen zwischen $-3°$ und $-5°$ C

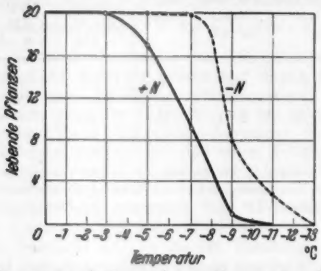


Fig. 1. Kälteversuch mit Papaver somniferum. Anzahl der Pflanzen, die nach einstündigem Aufenthalt in verschieden tiefen Temperaturen noch am Leben waren. + N-Kontrollen, — N-Mangelpflanzen.

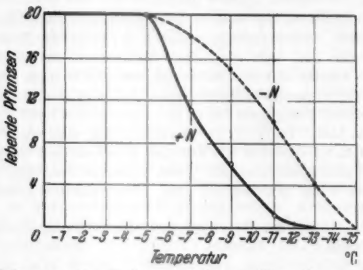


Fig. 2. Kälteversuch mit Avena strigosa. Versuchsanordnung wie in Fig. 1.

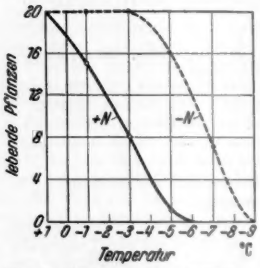


Fig. 3. Kälteversuch mit Helianthus annuus. Versuchsanordnung wie bei Fig. 1 und 2.

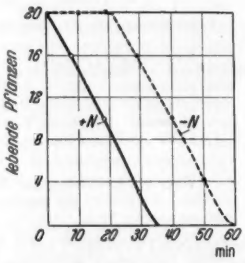


Fig. 4. Kälteversuch bei Helianthus annuus. Die Pflanzen wurden verschieden lange bei $-10°$ C gehalten.

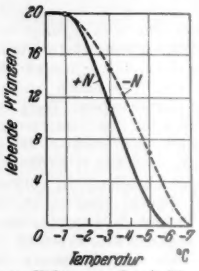


Fig. 5. Kälteversuch mit Pisum sativum, angesetzt am 32. Tage nach der Aussaat. Anordnung wie bei Fig. 1 und 2.

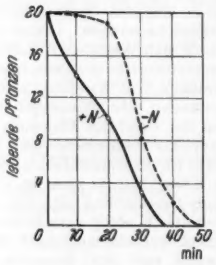


Fig. 6. Kälteversuch an Pisum sativum, 62 Tage nach der Aussaat. Die Pflanzen wurden verschieden lange bei $-16°$ C gehalten.

einsetzt, erfolgt dies bei den N-Mangelpflanzen erst zwischen $-7°$ und $-9°$ C.

Das gleiche Ergebnis zeigten die Versuche mit Helianthus annuus, auf die sich Fig. 3 und 4 beziehen. Dabei entspricht der in Fig. 3 dargestellte Versuch den soeben bei Papaver geschilderten Verhältnissen, nur daß hier die Pflanzen 35 Tage nach der Keimung in die Kältekammer kamen, während bei Fig. 4 die Pflanzen — es kamen hierbei nur einzelne Blätter zur Verwendung — verschieden lange einer Temperatur von $-10°$ C ausgesetzt waren. Es zeigte sich hierbei, daß die N-Mangelpflanzen erst nach wesentlich längerer Zeit durch die tiefe Temperatur getötet wurden.

Recht aufschlußreich waren die Versuche an Pisum sativum. Wurden die Versuche 32 Tage nach der Aussaat vorgenommen, so war zwar die erhöhte Frostresistenz der N-Mangelpflanzen bereits erkennbar, jedoch weniger deutlich als in den früheren Fällen (Fig. 5). Es ist klar, daß der große Stickstoffvorrat, den die Pflanzen in den Kotyledonen mitbekommen, den N-Mangel in den ersten Wochen der Entwicklung noch nicht so fühlbar werden läßt, wie etwa beim Mohn, dessen Samen ja ohne wesentliche Reserven sind. Wiederholt man den Versuch bei der Erbse nach 62 Tagen, so sind auch hier die Unterschiede ebenso deutlich wie in den früher angeführten Beispielen (Fig. 6).

Es darf somit festgestellt werden, daß — zusammen mit jenen in der früheren Arbeit untersuchten Fällen — bei insgesamt sechs systematisch verschiedenen Blütenpflanzen in völlig übereinstimmender Weise die starke Erhöhung der Kälteresistenz bei N-Mangel festgestellt werden konnte. Daß es sich dabei um ein — zumindest bei höheren Pflanzen — ganz allgemein gültiges Verhalten handelt, ist darum nicht mehr zweifelhaft.

Es ergeben sich von hier aus Ansatzpunkte zu weiteren Untersuchungen, die der eine von uns (Z.) weiterverfolgen wird. Einerseits führt unsere Feststellung zur Frage, welche Beziehungen sich zu der durch N-Mangel geänderten Plasmastruktur erkennen lassen, andererseits muß erwogen werden, ob die durch N-Mangel hervorgerufene Erhöhung der Frostresistenz nicht auch für die angewandte Botanik brauchbare Gesichtspunkte liefert.

Botanische Staatsanstalten München-Nymphenburg.

FRITZ GESSNER und FERDINAND ZWERENZ.

Eingegangen am 20. Mai 1950.

[1]) GESSNER, F., u. M. SCHUMANN-PETERSEN: Z. Naturforschg. 3b, 36 (1948).

[2]) KESSLER, W., u. W. RUHLAND: Planta (Berl.) 28, 159 (1938).

[3]) RUGE, U.: Übungen zur Wachstums- und Entwicklungsphysiologie der Pflanze. Berlin u. Göttingen 1937.

Über die Kolloid-Elution durch Serumprotein, Bence-Jones-Protein und Galle.

An den Austauschvorgängen zwischen Blutflüssigkeit und angrenzendem Gewebe (Retikulo-Endothel, Leber, Milz) sind neben wasserlöslichen Stoffen, wie den Salzen und Kohlenhydraten, auch fettlösliche Substanzen beteiligt, wie die Lipoide. Hauptträger dieser Sorptions- und Desorptionsvorgänge sind die Serumproteine, weil ihnen neben hydrophilen auch lipophile Eigenschaften zukommen. Um dafür eine Meßgröße zu gewinnen, haben wir ein Adsorptionsmodell entwickelt (WUNDERLY[1]). Dazu werden Hautfaserscheiben von 9 cm ⌀ so mit den wasserlöslichen Farbstoffen Evans-Blue und Kongorot, sowie den Fettfarbstoffen Sudanrot und Cibablau BZL angefärbt, daß auf eine Scheibe $500 \pm 15\,\gamma$ Farbstoff zieht. Die noch feuchten, wasserecht gefärbten Scheiben werden in verdünntes Blutserum, BENCE-JONES-Protein und Galle eingelegt, so daß sie allseitig umspült sind. Die kolorimetrische Auswertung nach 48 Std bei 2° gibt die Größe der Kolloid-Elution.

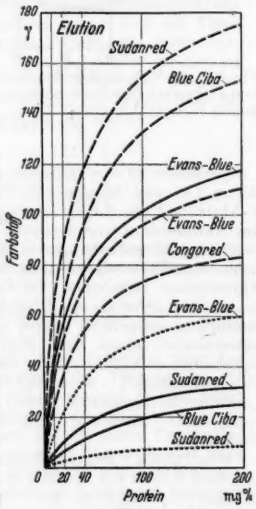


Fig. 1.

Wie Fig. 1 zeigt, fällt die Elutionsleistung von Uroprotein (BENCE-JONES) stark ab gegenüber jener von normalem Serumprotein. Dabei würde nach unseren Erfahrungen mit Albumin (WUNDERLY[2]) das relativ niedere Teilchengewicht

des Uroproteins von 37000 eher für eine gute Elutionsleistung sprechen. Allein die spezifische Absorption des BENCE-JONES-Proteins im Ultraviolett (LÖFFLER, WUNDERLY und WUHRMANN[3]), sowie die von DENT[4]) chromatographisch nachgewiesene Abwesenheit von Methionin sind Beweis für die atypische Zusammensetzung seiner Aminosäurebausteine.

Kolloid-Elution durch 10, 20, 40, 100 und 200 mg-% Serumprotein (Kurven ausgezogen), BENCE-JONES-Uroprotein (Kurven punktiert) und Galle (Kurven gestrichelt). Die Ordinaten zeigen die nach 48 Std eluierte Farbstoffmenge in γ.

Die Galle wurde erst hochtourig zentrifugiert und mit Veronalacetat-Puffer auf p_H 7 gebracht. Für die Ansätze wurde so mit NaCl physikalisch verdünnt, daß sie konzentrationsgleich waren wie jene mit Serumprotein. Daraufhin werden wesentlich mehr Fettfarbstoffe eluiert, wie Evans-Blue (s. Fig. 1). Somit hat sich das Verhältnis von hydrophilen zu lipophilen Eigenschaften gegenüber Serumprotein gerade umgekehrt. Diese Tatsache erscheint bedeutungsvoll mit Hinsicht auf die Funktionen der Galle im Fettstoffwechsel. Die von uns verwendete Galle enthielt 9‰ Cholsäure, 6,4‰ Glycocholat und 3‰ Taurocholat, womit die hauptsächlichsten Träger der Lipophilie genannt sind. Es ist dies die Bestätigung von Modellversuchen, wo wir nachgewiesen haben, (WUNDERLY[5]), daß die Elution von Sudanrot durch Serumprotein mit Zusätzen von Cholinchlorid und glycocholsaurem Na gesteigert wird.

Medizinische Universitätsklinik, Zürich.
CH. WUNDERLY.

Eingegangen am 3. August 1950.

[1]) WUNDERLY, CH.: Ärztl. Forschg 4 [2], 29 (1950).
[2]) WUNDERLY, CH.: Experientia 6, 228 (1950).
[3]) LÖFFLER, W., CH. WUNDERLY u. F. WUHRMANN: Schweiz. med. Wschr. 1949, 595.
[4]) DENT, CH. E.: Biochem. Soc. Symposia 1950, No 3, 48.
[5]) WUNDERLY, CH.: Kolloid-Z. 117, 137 (1950).

Zur Abhängigkeit der pathophysiologischen Reaktionsfähigkeit der Gewebe von hormonalen Einflüssen.

In früheren Untersuchungen[1]) wurde gezeigt, daß die pathophysiologische Reaktionsfähigkeit von Geweben in entscheidendem Ausmaße durch hormonale Einflüsse *wandelbar* ist. So bleibt z. B. die Nekrose der Nebennierenrinde nach Diphtherietoxin bei 5 bis 100fach tödlicher Toxindosis aus, wenn das Organ keine hormonalen Impulse von der Hypophyse erhält. Dies läßt sich durch Hypophysektomie erzielen. Andererseits kann die Diphtherietoxinwirkung durch entsprechende hormonale Reize auf Gewebe gelenkt werden, die normalerweise nicht erkranken. So ist es z. B. möglich, durch Diphtherietoxin mit Hilfe von gonadotropem Hormon eine hämorrhagische Nekrose der Gonaden zu bewirken.

Nunmehr wurde die Rolle des Follikelhormons bei der Entstehung toxischer Schäden der Uterusschleimhaut geprüft. Bei nicht graviden oder kastrierten oder hypophysektomierten Meerschweinchen ruft Diphtherietoxin auch in sehr hohen Dosen keinen Schaden am Uterus hervor. Das Toxin, subcutan oder intrakardial für sich allein gegeben, schädigt demnach nicht die Zellen der Uterusschleimhaut. Wenn jedoch der Reiz des Toxins im Substrat Uterus mit der Wirkung des Follikelhormons zusammentrifft, dann tritt eine hämorrhagische Nekrose der Uterusmucosa auf. Das läßt sich in folgender Versuchsanordnung zeigen:

Kastrierte Meerschweinchen erhalten in 3 Tagen zum Aufbau des Uterus 700 γ Oestradioldipropionat zugeführt. Gibt man jetzt 5 d. l. m. Diphtherietoxin intrakardial, so entsteht im Laufe von 15 bis 20 Std eine schwere Hämorrhagie und Nekrose der Uterusschleimhaut. Das Organ ist makroskopisch blauschwarz gefärbt. Histologisch finden sich ausgedehnte Blutungen, Ödem und Nekrose der Drüsenepithelien. Der Versuch läßt sich mit gleichem Ergebnis auch am kastrierten und hypophysektomierten Tier durchführen. Das Follikelhormon allein ist daher ausreichend für die Ermöglichung des Eintritts des Toxinschadens in der Uterusschleimhaut. Progesteron, vor der Toxingabe angewendet, hebt die für den Eintritt der Toxinschädigung erforderliche Östradiolwirkung auf: die Uterusmukosa bleibt intakt.

Das Versuchsergebnis bietet eine Erklärungsbasis für die Entstehung toxischer Uterusblutungen im Gefolge schwerer Infektionskrankheiten. Für die menschliche Diphtherie hat v. ROM[2]) darauf hingewiesen, daß Fälle mit starken Genitalblutungen besonders schwer verlaufen, wobei dem Follikelhormon die Rolle eines gefäßschädigenden Faktors zugeschrieben wird.

Die vorstehenden Versuche ergeben — wie bereits mit anderen Hormonen für andere Substrate dargetan —, daß die Follikelhormonwirkung eine conditio sine qua non für das Auftreten von Gewebsschäden am Uterus durch Diphtherietoxin darstellt. Somit zeigt sich erneut, daß die *pathophysiologische Reaktionsfähigkeit* mancher Gewebe von *hormonalen Faktoren bestimmt* wird und damit der *Wandelbarkeit* unterliegt. Der Rückgang entzündlicher Gelenkveränderungen beim chronischen Gelenkrheumatismus nach Verabreichung des Nebennierenrindenhormons Cortison in hohen Dosen zeigt das gleiche biologische Prinzip.

Gießen, Anatomisches Institut der Medizinischen Akademie.
EMIL TONUTTI.

Eingegangen am 20. Juli 1950.

[1]) TONUTTI, E.: Klin. Wschr. 1949, 569. — Pharmazie 1949, 441. — Langenbecks Arch. u. Dtsch. Z. Chir. 264, 61 (1950).
[2]) ROM, G. D. v.: Med. Diss. Tübingen 1945.

Die Filterfähigkeit der Tiernase im Staubinhalationsversuch.

(Erscheint ausführlich in „Arbeitsphysiologie".)

II. Die Filterfähigkeit der Hundenase.

Versuche am Kaninchen, das heute in Deutschland vorwiegend für Staubinhalationsversuche verwandt wird, haben ergeben, daß die Nase dieses Tieres durchschnittlich 86,3% des eingeatmeten Feinstaubes (Teilchengröße unter 2 μ) zurückhält[1]). Zur Ermittlung eines Tieres mit geringerem Staubbindungsvermögen seiner Nase wurde als nächste Tierart der Hund untersucht, zumal hier neuere Befunde von GUNTHER LEHMANN (1938)[2]) vorliegen, der beim deutschen Schäferhund und ähnlichen Rassen ein Staubbindungsvermögen von 50 bis 70%, bei Kurznasen (undefinierbaren Rassen) hingegen nur ein solches von etwas über 30% angibt.

Wir haben nur kurznasige Hunde undefinierbarer Rasse untersuchen können, wobei die bereits in unserer I. Mitteilung[1]) beschriebene Apparatur wieder benutzt wurde mit dem einen Unterschied, daß der Größe des Versuchstieres entsprechend eine bedeutend größere Staubkammer (250 Liter Inhalt) eingebaut wurde. Die Versuchsergebnisse bringen wir zunächst wieder in der gleichen zusammengefaßten Tabelle:

Tabelle 1. *Filterfähigkeit der Hundenase.*

Versuch Nr.	Anzahl der Messungen	Kontinuierlich durchgesaugte Luftmenge Liter/min	Durchschnittliche Staubkonzentration vor der Nase mg/m³	Durchschnittliche Staubkonzentration hinter der Nase mg/m³	Filterfähigkeit %
1	14	7,3	92,1	58,4	36,6
2	12	10,0	148,5	98,6	33,6
3	14	10,0	117,8	81,0	31,2
4	10	10,4	140,0	92,9	33,6
5	5	10,1	121,4	78.5	35,3
6	8	4,4	129,7	70,0	46,0
Durchschnitt	63	8,8	123,2	79,6	35,4

Die Werte in Tabelle 1 zeigen klar, daß das Staubbindungsvermögen der Hundenase — in Übereinstimmung mit GUNTHER LEHMANN[2]) — viel geringer ist als das des Kaninchens. Es gilt nun festzustellen, ob der Hund auf den silikogenen Staub, der in die Lunge gelangt, in gleicher Weise reagiert wie das Kaninchen. Zu diesem Zweck laufen bereits seit einiger Zeit Versuche an staubreichen Arbeitsplätzen unter Tage (Streckenvortrieb, Bergekippanlagen), die gleichzeitig die immerhin umstrittene Frage nach der Bedeutung des Staubbindungsvermögens der Nase für die Silikoseprophylaxe erneut aufwerfen sollen.

Aus der Silikose-Forschungsabteilung des Steinkohlenbergwerkes „Rheinpreußen", Homberg (Niederrhein).
ERICH SCHILLER und GÜNTHER WORTH.

Eingegangen am 10. Juli 1950.

[1]) WORTH, G., u. E. SCHILLER: Naturwiss. 37, 401 (1950).
[2]) LEHMANN, G.: Die Filterung der Atemluft und deren Bedeutung für Staubkrankheiten. Berlin: Springer 1938.

Besprechungen.

Kleber, W.: Angewandte Gitterphysik. 2. Aufl. Erschienen in der Reihe „Arbeitsmethoden der modernen Naturwissenschaften. Berlin: de Gruyter u. Co. 1949. 215 S. mit 54 Abb. DMark 8.50.

Dieses im Jahre 1941 erstmalig erschienene wertvolle Büchlein liegt nun in 2. vermehrter und verbesserter Auflage vor. Es bringt jetzt noch vollkommener als früher einen gut verständlichen und wohldurchdachten ersten Überblick über viele Dinge, welche für den Chemiker, Physiker, Metallographen und fast alle Richtungen der modernen Technik, nämlich soweit sie sich mit Festkörpern beschäftigen, schon längst ein notwendiges Rüstzeug geworden sind oder doch sein sollten, während sie andererseits an den Stellen, für welche sie in Forschung und Entwicklung fruchtbar sein können, oft nicht genügend bekannt sind, vielleicht weniger wegen eines Mangels an mineralogischer Vorbildung, als vor allen Dingen deshalb, weil ein großer Teil dieser neueren Tatsachen und Theorien weit über die Literatur zerstreut ist.

Der Autor hat es meisterhaft verstanden, diese Literaturlücke zu schließen und damit ein Buch geschaffen, welches zunächst für Forscher und Techniker ein nützlicher kleiner Handweiser ist, welches man aber vor allem den Studierenden der Chemie und der Mineralogie in die Hand geben sollte.

Der Inhalt des Buches gliedert sich in folgende Teile:

An eine ganz kurze Einleitung über die Aggregatzustände der Materie und deren Struktur schließt sich ein erstes größeres Kapitel über den „Gitteraufbau der kristallisierten Materie". Hier werden sehr kurz behandelt die Geometrie der Kristallgitter, die wichtigsten Methoden der Kristallstrukturbestimmung, sowie allgemeine Bauprinzipien und einige wichtige anorganische Strukturen.

Alsdann folgt das Hauptkapitel über die „Physik des idealen Kristallgitters". Hier werden behandelt Kristallbausteine und ihre Bindungskräfte, die Gitterenergie, sowie die wichtigsten Größenbeziehungen der Kristallbausteine, ferner Polymorphie, Isotypie und Isomorphie, weiterhin Diffusion und Platzwechselvorgänge und sodann die Grenzflächenvorgänge, alles vom modernsten Standpunkt aus. Bei den Grenzflächenvorgängen werden behandelt: Aufbau und Abbau der Kristallgitter, Oberflächendiffusion und Oberflächenreaktion, sowie Grenzflächenreaktionen.

Hierauf folgt eine eingehende Behandlung der physikalischen Eigenschaften der Kristalle vom Standpunkt des idealen Kristallgitters, und zwar der mechanischen, thermischen, optischen und elektrischen Eigenschaften.

Damit ist die Behandlung der Physik der idealen Kristallgitter abgeschlossen, und es folgt als letztes Kapitel ein solches über die „Realstruktur der Kristalle und ihre physikalische Bedeutung". Hier gibt der Verf. zunächst einen Überblick über die verschiedenen Typen von Kristallbaufehlern sowie über die Fehlordnungstypen nach LAVES und erwähnt kurz die nicht reversiblen Baufehler.

Alsdann werden für die realen Kristalle behandelt die mechanischen Eigenschaften, Diffusions- und Leitereigenschaften, Lumineszenzerscheinungen und schließlich die Erscheinung der Zwillingsbildung. Daran schließen sich ein Literaturverzeichnis sowie Sach- und Personenregister an.

Man findet in dem Büchlein neben elementarem Rüstzeug überall Ergebnisse der akutesten modernen Forschung, wie die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der Oxyde vom Sauerstoffdruck nach C. WAGNER, die Theorien über Eigenspannungen und Verfestigungen nach KOCHENDÖRFER, die Untersuchungen über Kerbwirkung und die Auswirkung von Ritzungen usw.

Der Stil ist überall flüssig und gut verständlich, die Darstellung genau. Kleine Auslassungen werden gerne in Kauf genommen und können in einer späteren Auflage leicht ergänzt werden. So ist z. B. in dem Büchlein nirgendwo der Begriff der Tetraëder- und Oktaëderlücken erklärt. Auch bezüglich der Realstruktur ließe sich noch einiges Grundlegende zufügen.

Auf alle Fälle ist die Gesamtanlage des Büchleins so glücklich und gut, daß man ihm nur stärkste Verbreitung wünschen kann.

R. FRICKE.

Eingegangen am 8. Mai 1950.

Kuckuck, F., u. A. Mudra: Lehrbuch der Allgemeinen Pflanzenzüchtung. Landwirtschaftliche Wissenschaft. Bd. III. Stuttgart: S. Hirzel 1950. 280 S. u. 57 Abb. DMark 14.50.

Das Buch füllt in ausgezeichneter Weise eine in Fachkreisen stark empfundene Lücke aus, die zwischen dem großen Handbuch der Pflanzenzüchtung von ROEMER und RUDORF einerseits und kleinen Abrissen der Pflanzenzüchtung andererseits bestand, wie es etwa das von KUCKUCK herausgegebene Göschenbändchen darstellt.

Es vermittelt dem Leser einen klaren Überblick über den augenblicklichen Stand der modernen Pflanzenzüchtung und gibt damit auch dem praktischen Zuchtbetriebe die Anregungen und Hinweise, die für die Verbesserung seiner Methodik und Angleichung an den neuesten Stand der Forschung unentbehrlich sind.

Ausgehend von der Formenmannigfaltigkeit, ihren Ursachen und ihrer Bedeutung für die Züchtung, führt uns das Buch zuerst in die Kenntnis des Ausgangsmaterials der Pflanzenzüchtung ein. Hier werden auch die Fragen der Vererbung besprochen, soweit sie zum Verständnis züchterischer Vorgänge unbedingt notwendig sind. Dagegen wird der Züchter hinsichtlich eines genaueren Einblicks in die genetischen Vorgänge mit Recht auf die spezielle Vererbungsliteratur verwiesen.

Der zweite Teil des Buches erschließt dem Leser ein wichtiges Gebiet der angewandten Pflanzenphysiologie, auf dem die Wissenschaft in den letzten Jahrzehnten ein gutes Stück vorangekommen ist. Wachstum, Entwicklung und Resistenz sind die drei wichtigsten physiologischen Komplexe, die uns in der von den Verf. gewählten Darstellungsform viele Möglichkeiten und natürliche Gegebenheiten aufzeigen, mit denen der Pflanzenzüchter zu arbeiten und zu rechnen hat.

Die beiden letzten Teile des Buches beschäftigen sich mit den eigentlichen Fragen der praktischen Züchtung. Der 3. Teil schildert die Zuchtmethoden. Hier wird eine Methode in logischer Folge aus der anderen entwickelt bis zu den modernen Methoden der Heterosis- und Mutationszüchtung, die eine sehr klare und überzeugende Darstellung finden. Im letzten Teil ist neben den Fragen der Einrichtung eines Zuchtgartens besonders das Kapitel über Anlage und Auswertung von Leistungsprüfungen hervorzuheben. Es stellt ein geschlossenes Kapitel des Feldversuchswesens dar und ist aus zweierlei Gründen besonders wertvoll. Erstens findet der Pflanzenzüchter in „seinem" Buch nun auch alle wesentlichen modernen Anlage- und Auswertungsmethoden für Leistungsprüfungen dargestellt, und zweitens ist hier ein Gebiet in klarer Form dargestellt, welches gegenwärtig im Feldversuchswesen eine wichtige Rolle spielt und viel diskutiert, aber in seiner Bedeutung noch längst nicht voll erkannt und beherrscht wird. Durch die Darstellungsform des Verf. wird dem Leser klar, daß die neuen Methoden der Auswertung von Feldversuchen nur eine Fortentwicklung der bisher gebräuchlichen Verfahren sind und bei einiger Übung keine erhebliche rechnerische Mehrbelastung darstellen. Trotzdem ist gerade zu diesem Kapitel zu sagen, daß es in mancher Hinsicht noch nichts Endgültiges darstellt, insbesondere wenn man die Form bestimmter Rechengänge mit anderen Darstellungen dieser Art vergleicht. Das Prinzip, auf das es ankommt, ist überall gleich; doch ist die mathematische Ausdrucksweise häufig noch verwirrend mannigfaltig.

Der 4. Teil des Buches schließt mit einigen Angaben über Zuchtbuchführung, über Schutz und Kontrolle züchterischer Arbeit, sowie über Erhaltungszucht, Vermehrungsanbau und Saatgutkontrolle. Als Anhang ist noch ein kurzes Kapitel über die Entstehung der Kulturpflanzen angefügt.

Das Buch behandelt alle Fragen der allgemeinen Pflanzenzüchtung klar und gründlich, so daß es sowohl als Lehrbuch als auch als Nachschlagewerk beste Dienste leistet. Die allgemeine Pflanzenzüchtung ist heute zu einem so umfassenden und vielseitigen Wissensgebiet geworden, daß man es besonders begrüßen muß, wenn über dieses Gebiet in verhältnismäßig gedrängter Form mit wissenschaftlicher Gründlichkeit und Vielseitigkeit ein modernes Lehrbuch geschaffen wurde, welches dem Wissenschaftler und Praktiker in gleicher Weise ein willkommenes Hilfsmittel sein wird.

R. HÜBNER.

Eingegangen am 22. März 1950.

Verantwortlich für den Textteil: Prof. Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg.
Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg.

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften

Herausgegeben von

Professor Dr. **S. Flügge** Marburg a. d. Lahn und Professor Dr. **F. Trendelenburg** Freiburg i. Br.

Unter Mitwirkung von

Professor Dr. **W. Bothe** Heidelberg, Professor Dr. **F. Hund** Jena, Professor Dr. **P. Harteck** Hamburg

Vor kurzem erschien:

Dreiundzwanzigster Band

Mit 215 Abbildungen. III, 416 Seiten. 1950. DMark 59.60

Inhaltsübersicht:

Die Sonnenkorona. Von H. Siedentopf, Tübingen. — **Experimentelle Schwingungsanalyse.** Von W. Meyer-Eppler, Bonn a. Rh. — **Schallreflexion, Schallbrechung und Schallbeugung.** Von A. Schoch, Göttingen. — **Seignetteelektrizität.** Von H. Baumgartner, Zürich, F. Jona, Zürich und W. Känzig, Zürich. — **Theorie der Supraleitung.** Von H. Koppe, Göttingen. — **Röntgenspektroskopie der Valenzelektronenbänder in Kristallen.** Von H. Niehrs, Berlin. Inhalt der Bände XI—XXIII. — Namen- und Sachverzeichnis.

Außerdem liegen vor:

Zweiundzwanzigster Band

Mit 195 Abbildungen. III, 332 Seiten. 1949. DMark 48.—

Inhaltsübersicht:

Transurane. Von S. Flügge, Marburg-Lahn. — **Die Elektronenschleuder.** Von H. Kopfermann, Göttingen. — **Die Entwicklung der Elektronenlawine in den Funkenkanal.** Von H. Raether, Sceaux (Seine). — **Molekulare Schallabsorption und -dispersion.** Von H. O. Kneser, Göttingen. — **Röntgenbestimmungen der Atomanordnung in flüssigen und amorphen Stoffen.** Von R. Glocker, Stuttgart. — **Ursprung und Eigenschaften der kosmischen Strahlung.** Von E. Bagge, Hamburg. — **Ionosphäre.** Von J. Zenneck, Althegnenberg (Obb.). — Inhalt der Bände I—XXII. — Namen- und Sachverzeichnis.

Einundzwanzigster Band

Mit 188 Abbildungen. III, 361 Seiten. 1945. DMark 48.—

Inhaltsverzeichnis:

Neuere Fortschritte der Theorie des inneren Aufbaues und der Entwicklung der Sterne. Von L. Biermann, Berlin-Babelsberg. — **Elektrische Leitfähigkeit der Metalle bei tiefen Temperaturen.** Von E. Grüneisen, Marburg a. d. Lahn. **Supraleitfähigkeit.** Von E. Justi, Berlin und K. H. Koch, Wien. — **Anregungsstufen der leichten Atomkerne.** Von H. Volz, Erlangen. — **Die elektronenmikroskopische Untersuchung von Oberflächen.** Von H. Mahl, Berlin-Reinickendorf. — **Die Messung mechanischer und akustischer Widerstände.** Von K. Schuster, Breslau.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Debyeflex

Röntgenapparat

für Feinstruktur-Untersuchungen

Aufnahmegeräte

der verschiedensten Art

Rich. Seifert & Co. Hamburg 13

Röntgenwerk

Dr. Johannes Heidenhain, (13b) St. Georgen b. Traunstein

Telefon: Traunwalchen 96 oder 97

Spezialfabrik für Präzisionsleistungen

(Längen- u. Kreisteilungen), Mikroteilungen, Metall- u. Glasteilungen fotochemisch u. geätzt, Strichbilder und Testfiguren aller Art

Großflächenbolometer nach Kurlbaum

für Arbeiten auf dem Gebiet der Fotosynthese, Fotometrie, Kolorimetrie und für absolute Strahlungsintensitätsmessungen

Besonderheit:
Gleichmäßige Empfindlichkeit über die gesamte Empfängerfläche
Meßbare Mindestenergie ca. $1{,}5 \times 10^{-7}$ Watt, Auffangfläche 1000 mm²
Folienstärke 1 μ

Christian A. Lassen K.G. · Berlin-Neukölln Sonnenallee 47—49

MÜLLER MC 50

die bewährte

Feinstruktur-Röntgenröhre

C.H.F. Müller Aktiengesellschaft Hamburg

Lupen und Lesegläser
Stabmikroskope
Höhensonnenbrillen

Steffin & Bildt GmbH.
Fürth i. Bayern

Friedrich Nietzsches Naturbeflissenheit

Von **A. Mittasch**

Mit 102 Seiten. DMark 8.80

(Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse. Jahrgang 1950. 2. Abhandlung)

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Geniale Menschen

Von

Dr. **Ernst Kretschmer**

ord. Professor für Psychiatrie und Neurologie in Tübingen

Mit einer Porträtsammlung

Vierte Auflage

16. bis 20. Tausend. V, 217 Seiten. 1948. Halbleinen DMark 18.60

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Hans-Georg Halfter, Berlin W 35, Reichpietschufer 20. — Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg. — Printed in Germany